

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002350138
PUBLICATION DATE : 04-12-02

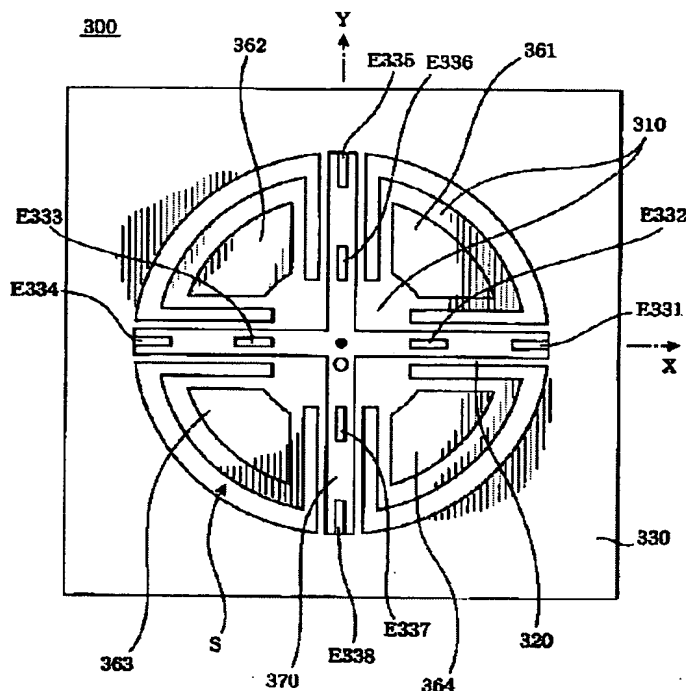
APPLICATION DATE : 28-05-01
APPLICATION NUMBER : 2001159196

APPLICANT : WACOH CORP;

INVENTOR : TANIGUCHI NOBUMITSU;

INT.CL. : G01C 19/56 G01P 9/04 G01P 15/09
G01P 15/125 G01P 15/18

TITLE : DETECTOR OF BOTH OF
ACCELERATION AND ANGULAR
VELOCITY



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To sensitively detect both of acceleration and angular velocity.

SOLUTION: At 4 locations of a main base plate 300 a C-shape penetration slit S is formed and a vibration part 310 having 4 wing pieces is supported at 4 locations by flexible bridge parts 320 in the structure with respect to surrounding fixing part 330. On the 4 wing pieces, driven elements 361 to 364 for extending and contracting the upper surface are pasted. With these driven elements, the vibration part 310 is made to project and deform upward or downward alternatively so that the center of gravity is vibrated to Z-axis direction perpendicular to the paper surface. When force due to the acceleration or Coriolis force based on the angular velocity works on the vibration part 310, a bend is caused in 4 bridge parts 320. The bend is detected on the basis of the voltage of the electrodes E331 to E338 formed on specific locations of a cross shape piezoelectric element 370 attached to the bridge parts 320, the vibration frequency component of the vibration part 310 is made an angular velocity component and the basis component is made an acceleration component.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-350138
(P2002-350138A)

(43)公開日 平成14年12月4日(2002.12.4)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	FI	テーマコード(参考)
G 0 1 C 19/56		G 0 1 C 19/56	2 F 1 0 5
G 0 1 P 9/04		G 0 1 P 9/04	
15/09		15/09	
15/125		15/125	
15/18		15/00	K
審査請求 未請求 請求項の数40 O L (全 48 頁)			

(21)出願番号 特願2001-159196(P2001-159196)

(22)出願日 平成13年5月28日(2001.5.28)

(71)出願人 390013343

株式会社ワコー

埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地

(72)発明者 岡田 和廣

埼玉県上尾市菅谷四丁目73番地 株式会社
ワコー内

(72)発明者 谷口 伸光

埼玉県上尾市菅谷四丁目73番地 株式会社
ワコー内

(74)代理人 100091476

弁理士 志村 浩

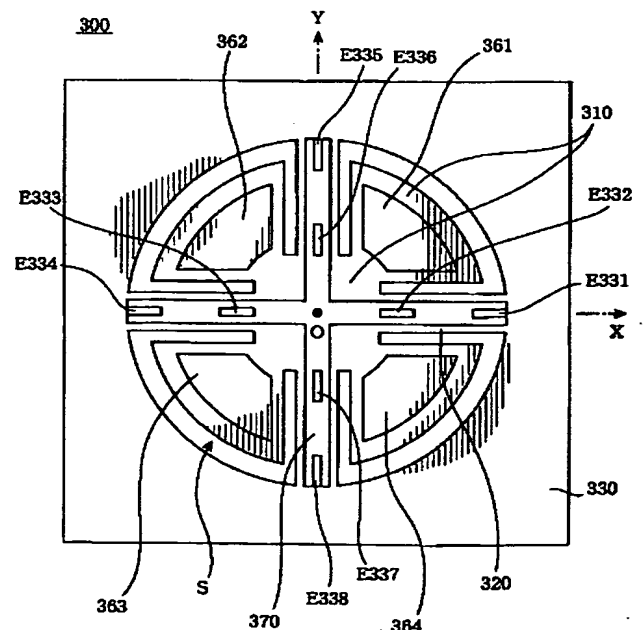
Fターム(参考) 2F105 BE20 CC04 CD02 CD03 CD05
CD06 CD11 CD13

(54)【発明の名称】 加速度と角速度との双方を検出する装置

(57)【要約】

【課題】 加速度と角速度との双方を感度良く検出する。

【解決手段】 主基板300の4か所にC字型の貫通スリットSを形成し、4枚の翼状片を有する振動部310が、周囲の固定部330に対して、可撓性をもった橋梁部320によって4か所において支持される構造を形成する。4枚の翼状片上には、上面を伸縮させるための励振素子361~364を貼り付け、この励振素子により、振動部310を上方に凸にしたり下方に凸にしたり交互に変形させ、その重心を紙面垂直Z軸方向に振動させる。加速度による力もしくは角速度に基づくコリオリ力が振動部310に作用すると、4本の橋梁部320に撓みが生じる。この撓みを、橋梁部320の上に貼り付けた十字状圧電素子370の所定箇所に形成した電極E331~E338の電圧に基づいて検出し、振動部310の振動周波数成分を角速度成分とし、バイアス成分を加速度成分とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 XYZ三次元座標系における少なくともいずれか1座標軸方向の加速度、ならびにXY平面に含まれる少なくとも1軸まわりの角速度を検出する装置であって、

形状が変化する性質を有し、この形状変化により重心が移動する振動子と、

装置筐体に固定された固定部と、

一端が前記振動子の所定箇所に接続され、他端が前記固定部の所定箇所に接続され、可撓性をもった材料から構成され、前記振動子を前記固定部に対して所定の自由度の範囲内で変位可能となるように支持する橋梁部と、前記振動子の重心がZ軸に沿って振動するように、前記振動子の形状を周期的に変形させるZ軸方向励振部と、前記振動子に作用する外力を検出する力検出部と、前記力検出部の検出結果に基づいて、前記装置筐体に対して作用した加速度および角速度の双方を示す電気信号を出力する信号出力部と、

を備えることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項2】 請求項1に記載の装置において、振動子がXY平面に沿って延びる板状体を有し、この板状体の形状を変化させることにより重心の移動が生じるように構成したことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項3】 請求項2に記載の装置において、振動子が、XY平面に沿って延びる板状体と、この板状体のほぼ中心に接合された重錘体と、を有することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項4】 請求項2または3に記載の装置において、中心部がZ軸正方向に移動し、周囲部がZ軸負方向に移動した結果、全体として上方に凸となる椀状形状をなす第1の変形状態と、逆に、中心部がZ軸負方向に移動し、周囲部がZ軸正方向に移動した結果、全体として下方に凸となる椀状形状をなす第2の変形状態と、の2つの状態を交互にとるように、板状体の形状を周期的に変形させることにより、振動子の重心をZ軸に沿って振動させるようにしたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項5】 請求項4に記載の装置において、Z軸方向励振部が、板状体の一方の面に対して、面方向に伸ばす力と縮める力とを交互に作用させることにより、板状体の形状を周期的に変形させることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項6】 請求項5に記載の装置において、Z軸方向励振部が、板状体の一方の面に接合された板状圧電素子と、この板状圧電素子に交流電圧を供給する電気回路と、を有し、前記交流電圧の供給によって前記板状圧電素子を前記板状体の面方向に周期的に伸縮させ、

前記板状体の形状を周期的に変形させることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項7】 請求項6に記載の装置において、板状圧電素子の上面に形成された上部電極と下面に形成された下部電極とを有し、電気回路から前記上部電極と前記下部電極との間に所定の交流電圧を供給することにより、板状体の形状を周期的に変形させることができるように構成したことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項8】 請求項7に記載の装置において、板状体の上面に共通電極となる導電層を形成し、この導電層の上に単一の板状圧電素子を貼り合わせ、この単一の板状圧電素子の上面の所定箇所に複数の個別電極を形成し、前記共通電極と前記各個別電極との間に交流電圧を供給することにより、板状体の形状を周期的に変形させることができるように構成したことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項9】 請求項6に記載の装置において、板状圧電素子の片面に、互いに同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第1の指状電極群と、互いに同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第2の指状電極群とを、前記第1の指状電極群に属する指状電極と前記第2の指状電極群に属する指状電極とが交互に並ぶように配置し、電気回路から前記第1の指状電極群と前記第2の指状電極群との間に所定の交流電圧を供給することにより、板状体の形状を周期的に変形させることができるように構成したことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項10】 請求項9に記載の装置において、板状体の上面に単一の板状圧電素子を貼り合わせ、この単一の板状圧電素子の上面の所定箇所に第1の指状電極群と第2の指状電極群とを形成したことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項11】 請求項4に記載の装置において、Z軸方向励振部が、板状体の中心部もしくは周囲部に対して、Z軸正方向もしくは負方向の力を周期的に作用させることにより、板状体の形状を周期的に変形させることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項12】 請求項11に記載の装置において、Z軸方向励振部が、板状体の一方の面に対向するように装置筐体に固定された補助基板と、前記板状体の前記一方の面の所定位置に設けられた第1の電極と、前記補助基板の前記第1の電極の対向位置に設けられた第2の電極と、前記第1の電極と前記第2の電極との間に交流電圧を供給する電気回路と、を有し、前記交流電圧の供給によって前記第1の電極と前記第2の電極との間に発生するクーロン力を利用して、前記板状体の形状を周期的に変形させることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項13】 請求項11に記載の装置において、Z軸方向励振部が、板状体の上面に対向するように装置筐体に固定された上部補助基板と、前記板状体の下面に対向するように装置筐体に固定された下部補助基板と、前記板状体の上面中央部に設けられた上面中央電極と、前記板状体の下面中央部に設けられた下面中央電極と、前記板状体の上面周囲部に設けられた上面周囲電極と、前記板状体の下面周囲部に設けられた下面周囲電極と、前記上部補助基板の下面における前記上面中央電極に対向する位置に設けられた上部補助中央電極と、前記上部補助基板の下面における前記上面周囲電極に対向する位置に設けられた上部補助周囲電極と、前記下部補助基板の上面における前記下面中央電極に対向する位置に設けられた下部補助中央電極と、前記下部補助基板の上面における前記下面周囲電極に対向する位置に設けられた下部補助周囲電極と、これら各電極間に所定の交流電圧を供給する電気回路と、を有し、前記電気回路は、前記上面中央電極と前記上部補助中央電極との間にクーロン引力を作用させるとともに、前記下面周囲電極と前記下部補助周囲電極との間にクーロン引力を作用させるような第1の状態と、前記上面周囲電極と前記上部補助周囲電極との間にクーロン引力を作用させるとともに、前記下面中央電極と前記下部補助中央電極との間にクーロン引力を作用させるような第2の状態と、が交互に繰り返されるような電圧供給を行うように構成されていることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項14】 請求項13に記載の装置において、導電性材料により板状体を構成し、この板状体の表面の一部を、上面中央電極、上面周囲電極、下面中央電極、下面周囲電極として用いるようにしたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項15】 請求項4に記載の装置において、力検出部が、橋梁部の撓みを検出する検出子を有し、検出した撓みに基づいて振動子に作用する外力を検出することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項16】 請求項15に記載の装置において、橋梁部に貼り付けられた板状圧電素子によって検出子を構成し、橋梁部の撓みに起因して前記板状圧電素子に応力が加わるようにし、この応力に基づいて前記板状圧電素子に発生した電圧を電気信号として取り出すことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項17】 請求項16に記載の装置において、振動子の重心から外れた位置をX軸に沿って両側から支持する2本の橋梁部と、前記振動子の重心から外れた位置をY軸に沿って両側から支持する2本の橋梁部と、の合計4本の橋梁部を設け、X軸正領域に位置する橋梁部の外側に第1の検出子を配置し、X軸正領域に位置する橋梁部の内側に第2の検出

子を配置し、X軸負領域に位置する橋梁部の内側に第3の検出子を配置し、X軸負領域に位置する橋梁部の外側に第4の検出子を配置し、Y軸正領域に位置する橋梁部の外側に第5の検出子を配置し、Y軸正領域に位置する橋梁部の内側に第6の検出子を配置し、Y軸負領域に位置する橋梁部の内側に第7の検出子を配置し、Y軸負領域に位置する橋梁部の外側に第8の検出子を配置し、力検出部が、前記第1の検出子の出力電圧と前記第3の検出子の出力電圧との和と、前記第2の検出子の出力電圧と前記第4の検出子の出力電圧との和と、の差に基づいて、X軸方向に作用した外力を検出し、前記第5の検出子の出力電圧と前記第7の検出子の出力電圧との和と、前記第6の検出子の出力電圧と前記第8の検出子の出力電圧との和と、の差に基づいて、Y軸方向に作用した外力を検出することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項18】 請求項17に記載の装置において、力検出部が、更に、第1の検出子、第4の検出子、第5の検出子、第8の検出子の各出力電圧の和と、第2の検出子、第3の検出子、第6の検出子、第7の検出子の各出力電圧の和と、の差に基づいて、Z軸方向に作用した外力を検出することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項19】 請求項17または18に記載の装置において、力検出部が、少なくとも4本の橋梁部に跨がる形状を有する単一の圧電素子と、この単一の圧電素子の下面に形成された共通電極と、この単一の圧電素子の上面の所定位置に形成された複数の個別電極と、有し、前記共通電極を前記4本の橋梁部の上面に接合し、前記共通電極に対して前記各個別電極に生じる電圧を各検出子の出力電圧とすることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項20】 請求項17または18に記載の装置において、板状圧電素子の片面に、互いに同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第1の指状電極群と、互いに同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第2の指状電極群とを、前記第1の指状電極群に属する指状電極と前記第2の指状電極群に属する指状電極とが交互に並ぶように、かつ各指状電極が橋梁部の長手方向に直交するように配置することにより1つの検出子を構成し、前記第1の指状電極群と前記第2の指状電極群との間に生じる電圧を、検出子の出力電圧とすることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項21】 請求項4に記載の装置において、振動子の重心から外れた位置を支持する複数の橋梁部を設け、力検出部が、板状体の一方の面に対向するように装置筐体に固定された補助基板と、前記板状体の前記一方の面

の所定位置に設けられた第1の電極と、前記補助基板の前記第1の電極の対向位置に設けられた第2の電極と、前記第1の電極と前記第2の電極とによって構成される容量素子の静電容量値を検出する電気回路と、を有し、検出した静電容量値に基づいて振動子に作用する外力を検出することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項22】 請求項21に記載の装置において、力検出部が、板状体のX軸正領域に配置された第1の電極と、板状体のX軸負領域に配置された第2の電極と、板状体のY軸正領域に配置された第3の電極と、板状体のY軸負領域に配置された第4の電極と、前記第1～第4の電極のそれぞれに対向するように補助基板側に設けられた4枚の電極と、を有し、前記第1の電極とこれに対向する電極とによって第1の容量素子が形成され、前記第2の電極とこれに対向する電極とによって第2の容量素子が形成され、前記第3の電極とこれに対向する電極とによって第3の容量素子が形成され、前記第4の電極とこれに対向する電極とによって第4の容量素子が形成されるようにし、

前記第1の容量素子の静電容量値と前記第2の容量素子の静電容量値との差に基づいてX軸方向に作用した外力の検出がなされ、前記第3の容量素子の静電容量値と前記第4の容量素子の静電容量値との差に基づいてY軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項23】 請求項22に記載の装置において、更に、第1の容量素子の静電容量値、第2の容量素子の静電容量値、第3の容量素子の静電容量値、第4の容量素子の静電容量値の合計に基づいてZ軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項24】 請求項22に記載の装置において、力検出部が、板状体のZ軸と交差する位置に配置された第5の電極と、この第5の電極に対向するように補助基板側に設けられた電極と、を更に有し、前記第5の電極とこれに対向する電極とによって第5の容量素子が形成されるようにし、前記第5の容量素子の静電容量値に基づいてZ軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項25】 請求項4に記載の装置において、振動子の重心から外れた位置を支持する複数の橋梁部を設け、力検出部が、板状体の上面に対向するように装置筐体に固定された上部補助基板と、前記板状体の下面に対向するように装置筐体に固定された下部補助基板と、前記板状体の上面のX軸正領域に配置された第1の上部電極と、前記板状体の上面のX軸負領域に配置された第2の上部電極と、前記板状体の上面のY軸正領域に配置され

た第3の上部電極と、前記板状体の上面のY軸負領域に配置された第4の上部電極と、前記板状体の下面のX軸正領域に配置された第1の下部電極と、前記板状体の下面のX軸負領域に配置された第2の下部電極と、前記板状体の下面のY軸正領域に配置された第3の下部電極と、前記板状体の下面のY軸負領域に配置された第4の下部電極と、前記第1～第4の上部電極のそれぞれに対向するように前記上部補助基板の下面に配置された4枚の電極と、前記第1～第4の下部電極のそれぞれに対向するように前記下部補助基板の上面に配置された4枚の電極と、を有し、

前記第1の上部電極とこれに対向する電極とによって第1の上部容量素子が形成され、前記第2の上部電極とこれに対向する電極とによって第2の上部容量素子が形成され、前記第3の上部電極とこれに対向する電極とによって第3の上部容量素子が形成され、前記第4の上部電極とこれに対向する電極とによって第4の上部容量素子が形成され、前記第1の下部電極とこれに対向する電極とによって第1の下部容量素子が形成され、前記第2の下部電極とこれに対向する電極とによって第2の下部容量素子が形成され、前記第3の下部電極とこれに対向する電極とによって第3の下部容量素子が形成され、前記第4の下部電極とこれに対向する電極とによって第4の下部容量素子が形成されるようにし、

前記第1の上部容量素子の静電容量値と前記第2の下部容量素子の静電容量値との和と、前記第2の上部容量素子の静電容量値と前記第1の下部容量素子の静電容量値との和と、の差に基づいて、X軸方向に作用した外力の検出がなされ、

前記第3の上部容量素子の静電容量値と前記第4の下部容量素子の静電容量値との和と、前記第4の上部容量素子の静電容量値と前記第3の下部容量素子の静電容量値との和と、の差に基づいて、Y軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項26】 請求項25に記載の装置において、力検出部が、板状体の上面のZ軸と交差する位置に配置された第5の上部電極と、この第5の上部電極に対向するように上部補助基板側に設けられた電極と、板状体の下面のZ軸と交差する位置に配置された第5の下部電極と、この第5の下部電極に対向するように下部補助基板側に設けられた電極と、を更に有し、前記第5の上部電極とこれに対向する電極とによって第5の上部容量素子が形成されるようにし、前記第5の下部電極とこれに対向する電極とによって第5の下部容量素子が形成されるようにし、前記第5の上部容量素子の静電容量値と前記第5の下部容量素子の静電容量値との差に基づいて、Z軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項27】 請求項21～26のいずれかに記載の

装置において、

導電性材料により板状体を構成し、この板状体の表面の一部を板状体側の電極として用いるようにしたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項28】 請求項1～27のいずれかに記載の装置において、

信号出力部が、力検出部によって得られる検出信号をバイアス成分と振幅成分とに分離する信号分離部を有し、前記バイアス成分に基づいて加速度を示す電気信号を出力し、前記振幅成分に基づいて角速度を示す電気信号を出力することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項29】 請求項28に記載の装置において、信号分離部が、検出信号の各変極点を抽出し、隣接する2つの変極点の時間軸上での中間位置に、この2つの変極点の信号値を平均して得られる信号値をもつ参照点を求め、求めた参照点を結ぶことによって得られる信号をバイアス成分とし、前記検出信号と前記バイアス成分との差に相当する信号を振幅成分とすることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項30】 請求項29に記載の装置において、信号出力部が、バイアス成分 f_a と振動子の質量 m とに基づいて、 $f_a = m \cdot \alpha$ なる演算式を適用して加速度 α を求め、振幅成分 f_c と振動子の質量 m と Z 軸方向励振部の動作状態から推定される振動子の瞬間速度 v とに基づいて、 $f_c = 2m \cdot v \cdot \omega$ なる演算式を適用して角速度 ω を求めることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項31】 請求項4に記載の装置において、力検出部が、板状体の撓みを検出する検出子を有し、検出した撓みに基づいて振動子に作用するコリオリ力を検出し、検出したコリオリ力に基づいて角速度の検出を行うことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項32】 請求項31に記載の装置において、板状体に貼り付けられた板状圧電素子によって検出子を構成し、板状体の撓みに起因して前記板状圧電素子に応力が加わるようにし、この応力に基づいて前記板状圧電素子に発生した電圧をコリオリ力を示す電気信号として取り出すことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項33】 請求項31または32に記載の装置において、

板状体の上面に、Z 軸と交差する所定の検出軸を定義し、この検出軸上の前記 Z 軸を挟んで相対する第1の地点および第2の地点を定義し、

前記第1の地点に前記板状体の伸縮状態を検出する第1の検出子を配置し、前記第2の地点に前記板状体の伸縮状態を検出する第2の検出子を配置し、前記第1の検出子の検出値と前記第2の検出子の検出値との差に基づい

て、前記検出軸方向に作用したコリオリ力を検出することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項34】 請求項1～33のいずれかに記載の装置において、

力検出部が X 軸方向に作用した外力 F_x 、Y 軸方向に作用した外力 F_y 、Z 軸方向に作用した外力 F_z をそれぞれ検出する機能を有し、

信号出力部が、前記外力 F_x に基づいて X 軸方向の加速度 α_x を示す電気信号および Y 軸まわりの角速度 ω_y を示す電気信号を出力し、前記外力 F_y に基づいて Y 軸方向の加速度 α_y を示す電気信号および X 軸まわりの角速度 ω_x を示す電気信号を出力し、前記外力 F_z に基づいて Z 軸方向の加速度 α_z を示す電気信号を出力することを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項35】 請求項1～34のいずれかに記載の装置において、

橋梁部と振動子との接続箇所に、前記振動子の振動ノードが位置するように構成されていることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項36】 請求項35に記載の装置において、振動子が XY 平面に沿って延びるほぼ円盤状の板状体を有し、この板状体が上方に凸となる椀状形状と下方に凸となる椀状形状とを交互にとることにより周期的な変形が生じるようにし、この周期的な変形におけるノードとなる円周位置に、橋梁部が接続されていることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項37】 請求項36に記載の装置において、ノードとなる円周位置を外周とする中心部と、この中心部の周囲の4か所から外方へ向けて延びる4枚の翼状部と、によってほぼ円盤状の板状体を形成し、隣接する一对の翼状部の間隙に橋梁部を配置し、合計4本の橋梁部によって前記中心部が支持される構造としたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項38】 請求項37に記載の装置において、1枚の主基板の4か所に「C」字状のスリットを形成することにより、4枚の翼状部と、4本の橋梁部と、固定部と、を形成したことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項39】 請求項1～38のいずれかに記載の装置において、

橋梁部の周囲に、所定の空隙をあけて、振動子を構成する構造体の一部分が位置する構成としたことを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【請求項40】 請求項1～39のいずれかに記載の装置において、

振動子の変形に関する共振周波数が橋梁部の撓みに関する共振周波数よりも高く設定されていることを特徴とする加速度と角速度との双方を検出する装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、加速度と角速度との双方を検出する装置、特に、振動子に作用する力に基づいて加速度および角速度の検出を行う装置に関する。

【0002】

【従来の技術】産業機械や電子機器などでは、加速度や角速度といった物理量を検出する装置が組み込まれることが多い。このため、小型で高精度な加速度センサや角速度センサが多数開発されてきている。特に、二次元あるいは三次元方向の加速度を検出できる多軸加速度センサや、二軸あるいは三軸まわりの角速度を検出できる多軸角速度センサの需要が高まってきている。たとえば、最近のデジタルカメラには、手振れ制御を行うために、多軸加速度センサや多軸角速度センサなどを内蔵したものが少なくない。このような用途では、センサの小型化が重要な課題であり、1つの小型の装置でありながら、加速度と角速度との双方を検出することが可能な兼用センサが望まれている。

【0003】本願発明者は、このような要望に応えるために、加速度と角速度との双方を検出する装置を提案した。たとえば、特開平8-68636号公報には、XYZ三次元座標系において、振動子をX軸、Y軸、Z軸に順次振動させ、そのときに振動子に加わるX軸、Y軸、Z軸方向の力をそれぞれ検出し、検出した力に基づいて、作用したX軸方向の加速度 α_x 、Y軸方向の加速度 α_y 、Z軸方向の加速度 α_z 、X軸まわりの角速度 ω_x 、Y軸まわりの角速度 ω_y 、Z軸まわりの角速度 ω_z を求めることができる検出装置が開示されている。この検出装置を用いれば、1つの小型の装置でありながら、三次元方向の加速度と三軸まわりの角速度とのすべてを検出することが可能になる。この装置における角速度の検出原理は、コリオリ力を利用したものである。たとえば、振動子にX軸まわりの角速度 ω_x が作用している状態において、この振動子をY軸方向に振動させると、Z軸方向にコリオリ力が作用するという原理を利用し、振動子を励振手段によってY軸方向に振動させた状態において、Z軸方向に作用したコリオリ力を検出し、このコリオリ力に基づいて、X軸まわりの角速度 ω_x を間接的に求めるのである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述した振動子を用いた検出装置では、振動子として機能する重錘体を、ある程度の自由度をもって運動が可能になるように支持する支持構造が必要になる。この支持構造は、通常、可撓性をもった部材から構成される。振動子に加速度が作用すると、この加速度に起因して生じる力により支持構造に撓みが生じ、振動子の変位することになる。この変位の向きと大きさは、作用した加速度の向きと大きさに応じたものになるので、振動子の変位を検出すれば、加速度を求めることができる。一方、角速度の検出は、振動子

を所定方向に振動させた状態で、この振動子に角速度に基づくコリオリ力が作用すると、やはり支持構造に撓みが生じ、振動子がコリオリ力の方向に変位することになる。この変位の向きと大きさは、作用した角速度の向きと大きさに応じたものになるので、振動子の変位を検出すれば、角速度を求めることができる。

【0005】ここで、振動子が振動できるのは、振動子の支持構造が可撓性を有しているからであり、振動子の変位できるのは、やはり振動子の支持構造が可撓性を有しているからである。このため、この支持構造の可撓性を示す指標であるバネ定数は、この検出装置の検出感度を左右する重要なパラメータになる。バネ定数の小さな支持構造を採用すれば、大きな可撓性が得られるようになり、わずかな力が作用しても振動子は大きく変位することになるので、加速度に対する検出感度を向上させることができる。ところが、支持構造のバネ定数を小さく設定すると、振動子の共振周波数が低下することになる。このため、振動子を低い周波数で振動させることができなくなり、カメラの手振れ制御などを行うのに必要な高い周波数（一般に、20kHz程度）での振動ができなくなる。逆に、このような高い周波数成分をもった角速度検出を可能にするために、支持構造のバネ定数を大きく設定すると、力の作用による振動子の変位は小さくなり、加速度に対する検出感度が低下してしまう。

【0006】このように、従来提案されている加速度と角速度との双方を検出する装置には、加速度の検出感度と角速度の検出感度との双方を満足させるような設定が困難であるという問題がある。そこで本発明は、加速度と角速度との双方を感度良く検出することが可能な検出装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】(1) 本発明の第1の態様は、XYZ三次元座標系における少なくともいずれか1座標軸方向の加速度、ならびにXY平面に含まれる少なくとも1軸まわりの角速度を検出することができる加速度と角速度との双方を検出する装置において、形状が変化する性質を有し、この形状変化により重心が移動する振動子と、装置筐体に固定された固定部と、一端が振動子の所定箇所へ接続され、他端が固定部の所定箇所へ接続され、可撓性をもった材料から構成され、振動子を固定部に対して所定の自由度の範囲内で変位可能となるように支持する橋梁部と、振動子の重心がZ軸に沿って振動するように、振動子の形状を周期的に変形させるZ軸方向励振部と、振動子に作用する外力を検出する力検出部と、力検出部の検出結果に基づいて、装置筐体に対して作用した加速度および角速度の双方を示す電気信号を出力する信号出力部と、を設けるようにしたものである。

【0008】(2) 本発明の第2の態様は、上述の第1の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置に

において、振動子がXY平面に沿って延びる板状体を有し、この板状体の形状を変化させることにより重心の移動が生じるように構成したものである。

【0009】(3) 本発明の第3の態様は、上述の第2の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、振動子が、XY平面に沿って延びる板状体と、この板状体のほぼ中心に接合された重錘体と、によって構成されるようにしたものである。

【0010】(4) 本発明の第4の態様は、上述の第2または第3の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、中心部がZ軸正方向に移動し、周囲部がZ軸負方向に移動した結果、全体として上方に凸となる椀状形状をなす第1の変形状態と、逆に、中心部がZ軸負方向に移動し、周囲部がZ軸正方向に移動した結果、全体として下方に凸となる椀状形状をなす第2の変形状態と、の2つの状態を交互にとるように、板状体の形状を周期的に変形させることにより、振動子の重心をZ軸に沿って振動させるようにしたものである。

【0011】(5) 本発明の第5の態様は、上述の第4の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、Z軸方向励振部が、板状体の一方の面に対して、面方向に伸ばす力と縮める力とを交互に作用させることにより、板状体の形状を周期的に変形させるようにしたものである。

【0012】(6) 本発明の第6の態様は、上述の第5の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、Z軸方向励振部が、板状体の一方の面に接合された板状圧電素子と、この板状圧電素子に交流電圧を供給する電気回路と、を有し、交流電圧の供給によって板状圧電素子を板状体の面方向に周期的に伸縮させ、板状体の形状を周期的に変形させるようにしたものである。

【0013】(7) 本発明の第7の態様は、上述の第6の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、板状圧電素子の上面に形成された上部電極と下面に形成された下部電極とを設け、電気回路から上部電極と下部電極との間に所定の交流電圧を供給することにより、板状体の形状を周期的に変形させることができるように構成したものである。

【0014】(8) 本発明の第8の態様は、上述の第7の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、板状体の上面に共通電極となる導電層を形成し、この導電層の上に単一の板状圧電素子を貼り合わせ、この単一の板状圧電素子の上面の所定箇所に複数の個別電極を形成し、共通電極と各個別電極との間に交流電圧を供給することにより、板状体の形状を周期的に変形させることができるように構成したものである。

【0015】(9) 本発明の第9の態様は、上述の第6の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、板状圧電素子の片面に、互いに同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第1の指状電極群と、互いに

同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第2の指状電極群とを、第1の指状電極群に属する指状電極と第2の指状電極群に属する指状電極とが交互に並ぶように配置し、電気回路から第1の指状電極群と第2の指状電極群との間に所定の交流電圧を供給することにより、板状体の形状を周期的に変形させることができるように構成したものである。

【0016】(10) 本発明の第10の態様は、上述の第9の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、板状体の上面に単一の板状圧電素子を貼り合わせ、この単一の板状圧電素子の上面の所定箇所に第1の指状電極群と第2の指状電極群とを形成するようにしたものである。

【0017】(11) 本発明の第11の態様は、上述の第4の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、Z軸方向励振部が、板状体の中心部もしくは周囲部に対して、Z軸正方向もしくは負方向の力を周期的に作用させることにより、板状体の形状を周期的に変形させるようにしたものである。

【0018】(12) 本発明の第12の態様は、上述の第11の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、Z軸方向励振部が、板状体の一方の面に対向するように装置筐体に固定された補助基板と、板状体の一方の面の所定位置に設けられた第1の電極と、補助基板の第1の電極の対向位置に設けられた第2の電極と、第1の電極と第2の電極との間に交流電圧を供給する電気回路と、を有し、交流電圧の供給によって第1の電極と第2の電極との間に発生するクーロン力を利用して、板状体の形状を周期的に変形させるようにしたものである。

【0019】(13) 本発明の第13の態様は、上述の第11の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、Z軸方向励振部が、板状体の上面に対向するように装置筐体に固定された上部補助基板と、板状体の下面に対向するように装置筐体に固定された下部補助基板と、板状体の上面中央部に設けられた上面中央電極と、板状体の下面中央部に設けられた下面中央電極と、板状体の上面周囲部に設けられた上面周囲電極と、板状体の下面周囲部に設けられた下面周囲電極と、上部補助基板の下面における上面中央電極に対向する位置に設けられた上部補助中央電極と、上部補助基板の下面における上面周囲電極に対向する位置に設けられた上部補助周囲電極と、下部補助基板の上面における下面中央電極に対向する位置に設けられた下部補助中央電極と、下部補助基板の上面における下面周囲電極に対向する位置に設けられた下部補助周囲電極と、これら各電極間に所定の交流電圧を供給する電気回路と、を有し、電気回路が、上面中央電極と上部補助中央電極との間にクーロン引力を作用させるとともに、下面周囲電極と下部補助周囲電極との間にクーロン引力を作用させるような第1の状態

と、上面周囲電極と上部補助周囲電極との間にクーロン引力を作用させるとともに、下面中央電極と下部補助中央電極との間にクーロン引力を作用させるような第2の状態と、が交互に繰り返されるような電圧供給を行うように構成されるようにしたものである。

【0020】(14) 本発明の第14の態様は、上述の第13の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、導電性材料により板状体を構成し、この板状体の表面の一部分を、上面中央電極、上面周囲電極、下面中央電極、下面周囲電極として用いるようにしたものである。

【0021】(15) 本発明の第15の態様は、上述の第4の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、力検出部が、橋梁部の撓みを検出する検出子を有し、検出した撓みに基づいて振動子に作用する外力を検出するようにしたものである。

【0022】(16) 本発明の第16の態様は、上述の第15の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、橋梁部に貼り付けられた板状圧電素子によって検出子を構成し、橋梁部の撓みに起因して板状圧電素子に応力が加わるようにし、この応力に基づいて板状圧電素子に発生した電圧を電気信号として取り出すようにしたものである。

【0023】(17) 本発明の第17の態様は、上述の第16の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、振動子の重心から外れた位置をX軸に沿って両側から支持する2本の橋梁部と、振動子の重心から外れた位置をY軸に沿って両側から支持する2本の橋梁部と、の合計4本の橋梁部を設け、X軸正領域に位置する橋梁部の外側に第1の検出子を配置し、X軸正領域に位置する橋梁部の内側に第2の検出子を配置し、X軸負領域に位置する橋梁部の内側に第3の検出子を配置し、X軸負領域に位置する橋梁部の外側に第4の検出子を配置し、Y軸正領域に位置する橋梁部の外側に第5の検出子を配置し、Y軸正領域に位置する橋梁部の内側に第6の検出子を配置し、Y軸負領域に位置する橋梁部の内側に第7の検出子を配置し、Y軸負領域に位置する橋梁部の外側に第8の検出子を配置し、力検出部が、第1の検出子の出力電圧と第3の検出子の出力電圧との和と、第2の検出子の出力電圧と第4の検出子の出力電圧との和と、の差に基づいて、X軸方向に作用した外力を検出し、第5の検出子の出力電圧と第7の検出子の出力電圧との和と、第6の検出子の出力電圧と第8の検出子の出力電圧との和と、の差に基づいて、Y軸方向に作用した外力を検出するようにしたものである。

【0024】(18) 本発明の第18の態様は、上述の第17の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、力検出部が、更に、第1の検出子、第4の検出子、第5の検出子、第8の検出子の各出力電圧の和と、第2の検出子、第3の検出子、第6の検出子、第7

の検出子の各出力電圧の和と、の差に基づいて、Z軸方向に作用した外力を検出するようにしたものである。

【0025】(19) 本発明の第19の態様は、上述の第17または第18の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、力検出部が、少なくとも4本の橋梁部に跨がる形状を有する単一の圧電素子と、この単一の圧電素子の下面に形成された共通電極と、この単一の圧電素子の上面の所定位置に形成された複数の個別電極と、有し、共通電極を4本の橋梁部の上面に接合し、共通電極に対して各個別電極に生じる電圧を各検出子の出力電圧とするようにしたものである。

【0026】(20) 本発明の第20の態様は、上述の第17または第18の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、板状圧電素子の片面に、互いに同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第1の指状電極群と、互いに同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第2の指状電極群とを、第1の指状電極群に属する指状電極と第2の指状電極群に属する指状電極とが交互に並ぶように、かつ各指状電極が橋梁部の長手方向に直交するように配置することにより1つの検出子を構成し、第1の指状電極群と第2の指状電極群との間に生じる電圧を、検出子の出力電圧とするようにしたものである。

【0027】(21) 本発明の第21の態様は、上述の第4の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、振動子の重心から外れた位置を支持する複数の橋梁部を設け、力検出部が、板状体の一方の面に対向するように装置筐体に固定された補助基板と、板状体の一方の面の所定位置に設けられた第1の電極と、補助基板の第1の電極の対向位置に設けられた第2の電極と、第1の電極と第2の電極とによって構成される容量素子の静電容量値を検出する電気回路と、を有し、検出した静電容量値に基づいて振動子に作用する外力を検出するようにしたものである。

【0028】(22) 本発明の第22の態様は、上述の第21の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、力検出部が、板状体のX軸正領域に配置された第1の電極と、板状体のX軸負領域に配置された第2の電極と、板状体のY軸正領域に配置された第3の電極と、板状体のY軸負領域に配置された第4の電極と、第1～第4の電極のそれぞれに対向するように補助基板側に設けられた4枚の電極と、を有し、第1の電極とこれに対向する電極とによって第1の容量素子が形成され、第2の電極とこれに対向する電極とによって第2の容量素子が形成され、第3の電極とこれに対向する電極とによって第3の容量素子が形成され、第4の電極とこれに対向する電極とによって第4の容量素子が形成されるようにし、第1の容量素子の静電容量値と第2の容量素子の静電容量値との差に基づいてX軸方向に作用した外力の検出がなされ、第3の容量素子の静電容量値と第

4の容量素子の静電容量値との差に基づいてY軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたものである。

【0029】(23) 本発明の第23の態様は、上述の第22の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、更に、第1の容量素子の静電容量値、第2の容量素子の静電容量値、第3の容量素子の静電容量値、第4の容量素子の静電容量値の合計に基づいてZ軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたものである。

【0030】(24) 本発明の第24の態様は、上述の第22の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、力検出部が、板状体のZ軸と交差する位置に配置された第5の電極と、この第5の電極に対向するように補助基板側に設けられた電極と、を更に有し、第5の電極とこれに対向する電極とによって第5の容量素子が形成されるようにし、第5の容量素子の静電容量値に基づいてZ軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたものである。

【0031】(25) 本発明の第25の態様は、上述の第4の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、振動子の重心から外れた位置を支持する複数の橋梁部を設け、力検出部が、板状体の上面に対向するように装置筐体に固定された上部補助基板と、板状体の下面に対向するように装置筐体に固定された下部補助基板と、板状体の上面のX軸正領域に配置された第1の上部電極と、板状体の上面のX軸負領域に配置された第2の上部電極と、板状体の上面のY軸正領域に配置された第3の上部電極と、板状体の上面のY軸負領域に配置された第4の上部電極と、板状体の下面のX軸正領域に配置された第1の下部電極と、板状体の下面のX軸負領域に配置された第2の下部電極と、板状体の下面のY軸正領域に配置された第3の下部電極と、板状体の下面のY軸負領域に配置された第4の下部電極と、第1～第4の上部電極のそれぞれに対向するように上部補助基板の下面に配置された4枚の電極と、第1～第4の下部電極のそれぞれに対向するように下部補助基板の上面に配置された4枚の電極と、を有し、第1の上部電極とこれに対向する電極とによって第1の上部容量素子が形成され、第2の上部電極とこれに対向する電極とによって第2の上部容量素子が形成され、第3の上部電極とこれに対向する電極とによって第3の上部容量素子が形成され、第4の上部電極とこれに対向する電極とによって第4の上部容量素子が形成され、第1の下部電極とこれに対向する電極とによって第1の下部容量素子が形成され、第2の下部電極とこれに対向する電極とによって第2の下部容量素子が形成され、第3の下部電極とこれに対向する電極とによって第3の下部容量素子が形成され、第4の下部電極とこれに対向する電極とによって第4の下部容量素子が形成されるようにし、第1の上部容量素子の静電容量値と第2の下部容量素子の静電容量値との和と、

第2の上部容量素子の静電容量値と第1の下部容量素子の静電容量値との和と、の差に基づいて、X軸方向に作用した外力の検出がなされ、第3の上部容量素子の静電容量値と第4の下部容量素子の静電容量値との和と、第4の上部容量素子の静電容量値と第3の下部容量素子の静電容量値との和と、の差に基づいて、Y軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたものである。

【0032】(26) 本発明の第26の態様は、上述の第25の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、力検出部が、板状体の上面のZ軸と交差する位置に配置された第5の上部電極と、この第5の上部電極に対向するように上部補助基板側に設けられた電極と、板状体の下面のZ軸と交差する位置に配置された第5の下部電極と、この第5の下部電極に対向するように下部補助基板側に設けられた電極と、を更に有し、第5の上部電極とこれに対向する電極とによって第5の上部容量素子が形成されるようにし、第5の下部電極とこれに対向する電極とによって第5の下部容量素子が形成されるようにし、第5の上部容量素子の静電容量値と第5の下部容量素子の静電容量値との差に基づいて、Z軸方向に作用した外力の検出がなされるようにしたものである。

【0033】(27) 本発明の第27の態様は、上述の第21～第26の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、導電性材料により板状体を構成し、この板状体の表面の一部分を板状体側の電極として用いるようにしたものである。

【0034】(28) 本発明の第28の態様は、上述の第1～第27の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、信号出力部が、力検出部によって得られる検出信号をバイアス成分と振幅成分とに分離する信号分離部を有し、バイアス成分に基づいて加速度を示す電気信号を出力し、振幅成分に基づいて角速度を示す電気信号を出力するようにしたものである。

【0035】(29) 本発明の第29の態様は、上述の第28の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、信号分離部が、検出信号の各変極点を抽出し、隣接する2つの変極点の時間軸上での中間位置に、この2つの変極点の信号値を平均して得られる信号値をもつ参照点を求め、求めた参照点を結ぶことによって得られる信号をバイアス成分とし、検出信号とバイアス成分との差に相当する信号を振幅成分とするようにしたものである。

【0036】(30) 本発明の第30の態様は、上述の第29の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、信号出力部が、バイアス成分 f_a と振動子の質量 m とに基づいて、 $f_a = m \cdot a$ なる演算式を適用して加速度 a を求め、振幅成分 f_c と振動子の質量 m とZ軸方向励振部の動作状態から推定される振動子の瞬間速度 v とに基づいて、 $f_c = 2m \cdot v \cdot \omega$ なる演算式を

適用して角速度 ω を求めるようにしたものである。

【0037】(31) 本発明の第31の態様は、上述の第4の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、力検出部が、板状体の撓みを検出する検出子を有し、検出した撓みに基づいて振動子に作用するコリオリ力を検出し、検出したコリオリ力に基づいて角速度の検出を行うようにしたものである。

【0038】(32) 本発明の第32の態様は、上述の第31の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、板状体に貼り付けられた板状圧電素子によって検出子を構成し、板状体の撓みに起因して板状圧電素子に応力が加わるようにし、この応力に基づいて板状圧電素子に発生した電圧をコリオリ力を示す電気信号として取り出すようにしたものである。

【0039】(33) 本発明の第33の態様は、上述の第31または第32の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、板状体の上面に、Z軸と交差する所定の検出軸を定義し、この検出軸上のZ軸を挟んで相対する第1の地点および第2の地点を定義し、第1の地点に板状体の伸縮状態を検出する第1の検出子を配置し、第2の地点に板状体の伸縮状態を検出する第2の検出子を配置し、第1の検出子の検出値と第2の検出子の検出値との差に基づいて、検出軸方向に作用したコリオリ力を検出するようにしたものである。

【0040】(34) 本発明の第34の態様は、上述の第1～第33の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、力検出部がX軸方向に作用した外力 F_x 、Y軸方向に作用した外力 F_y 、Z軸方向に作用した外力 F_z をそれぞれ検出する機能を有し、信号出力部が、外力 F_x に基づいてX軸方向の加速度 α_x を示す電気信号およびY軸まわりの角速度 ω_y を示す電気信号を出力し、外力 F_y に基づいてY軸方向の加速度 α_y を示す電気信号およびX軸まわりの角速度 ω_x を示す電気信号を出力し、外力 F_z に基づいてZ軸方向の加速度 α_z を示す電気信号を出力するようにしたものである。

【0041】(35) 本発明の第35の態様は、上述の第1～第34の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、橋梁部と振動子との接続箇所に、振動子の振動ノードが位置するように構成したものである。

【0042】(36) 本発明の第36の態様は、上述の第35の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、振動子がXY平面に沿って延びるほぼ円盤状の板状体を有し、この板状体が上方に凸となる碗形状と下方に凸となる碗形状とを交互にとることにより周期的な変形が生じるようにし、この周期的な変形におけるノードとなる円周位置に、橋梁部を接続するようにしたものである。

【0043】(37) 本発明の第37の態様は、上述の第36の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装

置において、ノードとなる円周位置を外周とする中心部と、この中心部の周囲の4か所から外方へ向けて延びる4枚の翼状部と、によってほぼ円盤状の板状体を形成し、隣接する一対の翼状部の間隙に橋梁部を配置し、合計4本の橋梁部によって中心部が支持される構造としたものである。

【0044】(38) 本発明の第38の態様は、上述の第37の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、1枚の主基板の4か所に「C」字状のスリットを形成することにより、4枚の翼状部と、4本の橋梁部と、固定部と、を形成したものである。

【0045】(39) 本発明の第39の態様は、上述の第1～第38の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、橋梁部の周囲に、所定の空隙をあけて、振動子を構成する構造体の一部分が位置する構成としたものである。

【0046】(40) 本発明の第40の態様は、上述の第1～第39の態様に係る加速度と角速度との双方を検出する装置において、振動子の変形に関する共振周波数が橋梁部の撓みに関する共振周波数よりも高くなるように設定したものである。

【0047】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図示する実施形態に基づいて説明する。

【0048】§1. 本発明に係る検出装置の主要構造部の構成

本発明は加速度と角速度との双方を検出する装置に係るものであり、その特徴は、主要構造部の構成にある。そこで、まず、この§1では、この主要構造部の基本構成例を示しながら、本発明の基本思想の説明を行うことにする。

【0049】図1は、本発明の基本的な実施形態に係る検出装置の主要構造部の上面図、図2は、この主要構造部の下面図、図3および図4は、この主要構造部の側断面図である。図1の上面図には、正方形をした主基板100の上面が示されている。ここでは、説明の便宜上、この主基板100の上面の中心位置に座標系の原点Oをとり、図の右方向にX軸、図の上方向にY軸をそれぞれとったXYZ三次元座標系を定義する（Z軸は、紙面に垂直になる）。図3の側断面図には、図1に示されている主要構造部をX軸に沿って切断した断面が示されており、図4の側断面図には、図1に示されている主要構造部を切断線4-4に沿って切断した断面が示されている。

【0050】図1の上面図に示されているとおり、主基板100の4か所には、「C」字状の貫通スリットSが形成されており、この貫通スリットSにより、主基板100は構造的に3つの構成部分に分けられる。図5は、この主基板100の個々の構成部分を説明するための平面図である。図にそれぞれ異なるハッチングを施して示

すとお、主基板100は、振動部110、橋梁部120、固定部130の3つの構成部分に分けられる(この図5におけるハッチングは、各構成部分の領域を明瞭に示すためのものであって、断面を示すためのものではない)。振動部110は、扇風機の羽のような形状をした部分であり、中心部と、この中心部の周囲の4か所から外方へ向けて延びる4枚の翼状部と、によって構成されており、ほぼ円盤状の板状体をなす。この部分を「振動部」と呼ぶのは、後述するように、この検出装置を動作させるにあたって、この振動部110の部分を振動させるためである。固定部130は、円形のくりぬき部を有する板状部材であり、振動部110の周囲を取り囲むように配置されている。後述するように、固定部130は、この検出装置の筐体に固定されることになる。貫通スリットSは、振動部110と固定部130との間を隔絶させる機能を果たしている。ただし、振動部110と固定部130とは、4本の橋梁部120によって接続されている。各橋梁部120は、振動部110の隣接する一対の翼状部の間隙に配置されており、内側端は振動部110の中心部に接続され、外側端は固定部130の円形のくりぬき部の縁に接続されている。結局、振動部110は、その中心部の4か所を4本の橋梁部120によって支持された構造となっている。なお、ここでは、後の説明の便宜上、各橋梁部120と振動部110との接続部分に、図示のとおり、境界点Pを定義しておく。

【0051】主基板100は、このように3つの構成部分を有しているが、もともとは1枚の基板であり、図示のように、4か所に「C」字状の貫通スリットSを形成することにより量産することができる。本発明の動作原理上、振動部110および橋梁部120の部分は、ある程度の可撓性(後述するように、振動部110については、形状変化による振動が起こる程度の可撓性、橋梁部120については、外力の作用により振動部110全体が変位する程度の可撓性)を有している必要がある。主基板100の材質は、必要な可撓性が得られる材質を選ぶ必要がある。もっとも、一般的な材質であれば、主基板100の厚みを調節することにより、ある程度の可撓性を得ることができるので、実用上は、金属、半導体、合成樹脂などの一般的な材料で主基板100を構成することができる。

【0052】図3の側断面図に示されているように、主基板100の下面中心部には重錘体140が接合されており、下面外周部には台座150が接合されている。重錘体140は、図2の下面図に示されているように円柱状の部材であり、振動部110の下面の中心位置に接合されている。また、台座150は、主基板100の外周を構成する四辺に沿って配置された壁状の部材である。この台座150は、この検出装置の筐体に取り付けられる(台座150自身によって装置筐体の一部を構成してもよい)。図3の側断面図に示すように、重錘体140

は、台座150および主基板100によって囲まれた空間内に宙吊りの状態となっている。図4の側断面図は、この主要構造部を貫通スリットSの位置(図1の切断線4-4の位置)で切断した断面を示しており、振動部110が貫通スリットSによって、固定部130と隔絶されている様子が描かれている。重錘体140は、振動部110の下面に接合されているため、振動部110とともに振動することになる。検出感度を高めるためには、重錘体140の質量をできるだけ大きくするのが好ましい。

【0053】ここでは、振動部110と重錘体140とを一体としてとらえ、これら一体の構造物を振動子と呼ぶことにする。図6は、この振動子(振動部110と重錘体140)の静止状態を示す側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。この振動子は、形状が変化する性質を有し、この形状変化により重心G(振動部110と重錘体140とからなる振動子全体についての重心)を移動させることができる。以下、図6に示す振動子の状態を基準状態として、この振動子が生じる形状の変化を説明しよう。図では、この形状変化を明瞭にするために、固定部130および台座150の位置を破線で示すことにする。

【0054】いま、図6に示す基準状態から、振動部110の中心部が上方(Z軸正方向)に移動し、周囲部が下方(Z軸負方向)に移動した状態に変化したとすると、図7の側断面図に示すように、振動部110は、全体として上方に凸となる椀状形状をなすことになる。このとき、重錘体140の位置も、若干、上方へと移動することになり、重心Gは上方へと移動する。このときの状態を、便宜上、第1の変形状態と呼ぶことにしよう。一方、図6に示す基準状態から、振動部110の中心部が下方(Z軸負方向)に移動し、周囲部が上方(Z軸正方向)に移動した状態に変化したとすると、図8の側断面図に示すように、振動部110は、全体として下方に凸となる椀状形状をなすことになる。このとき、重錘体140の位置も、若干、下方へと移動することになり、重心Gは下方へと移動する。このときの状態を、便宜上、第2の変形状態と呼ぶことにしよう。

【0055】さて、図7に示す第1の変形状態と、図8に示す第2の変形状態とを交互にとるように、振動部110(板状体)の形状を周期的に変形させることができれば、振動子の重心GをZ軸に沿って振動させることができる。実際には、重錘体140の形状はほとんど変化していないが、XY平面に沿って延びる板状体をなす振動部110の形状を変化させることにより、振動子全体としての重心Gの移動が生じることになり、重心GをZ軸に沿って振動させることができる。別言すれば、振動子(振動部110および重錘体140)は、全体としてみれば、形状が変化する性質を有し、この形状変化により重心Gが移動する性質をもった構造体ということがで

きる。

【0056】なお、一般に、振動系には、固有の共振周波数が定まっており、この共振周波数で振動子を振動させると、最も高い運動効率が得られる。すなわち、最小のエネルギー供給で、最大の振幅を得ることができる。したがって、本発明に係る検出装置を動作させる場合、実用上は、振動子とその固有の共振周波数で振動させるようにするのが好ましい。また、板状体を固有の共振周波数で振動させた場合、変位がほとんど生じないノードとなる部分が存在する。特に、振動部110のようなほぼ円盤状の板状体に対して、上方に凸となる碗状形状と下方に凸となる碗状形状とを交互にとるような変形振動を与えた場合、所定の円周位置がノードになる。図9に示す側断面図は、振動時のノードNの位置を示している。図示の例において、振動部110Aは上方に凸となる碗状形状の状態、振動部110Bは下方に凸となる碗状形状の状態、をそれぞれ示しているが、ノードNの位置に相当する部分は、破線で示す固定部130の位置に静止したままとなっている。このノードNの位置は、上面から見れば、Z軸を中心とした円周上に分布することになる。

【0057】振動子の具体的な共振周波数やノードNの具体的な位置は、振動部110および重錘体140の形状、各部の寸法、各部の質量、各部の材質などの条件によって定まる事項である。したがって、実際に本発明に係る検出装置を設計する際に、これらの事項を勘案すれば、振動子の共振周波数やノードNの位置を、ある程度コントロールすることができる。共振周波数をどのように設定すべきかは後述するが、ノードNの位置は、図5に示す境界点Pの位置に一致させるように設定するのが好ましい。すなわち、橋梁部120と振動部110との接続箇所である境界点Pに、振動子の振動ノードNが位置するように構成すれば、振動子の振動が橋梁部120を伝達して固定部130側へと漏れる現象を最小限に抑えることができ、いわゆる振動漏れに対して効果的な対策を施すことが可能になる。振動子の振動が装置筐体まで漏れた状態では、装置筐体に手を振れただけで、振動子の振動に影響が及ぶことになり、正確な測定を行うことができなくなる。したがって、振動子の振動ノードNの位置に橋梁部120を接続して支持するようにする、ということは、正確な測定を行う上で非常に重要である。

【0058】図示の実施形態のように、振動子の一部を構成する振動部110が、ほぼ円盤状の板状体であり、この板状体に、上方に凸となる碗状形状と下方に凸となる碗状形状とを交互にとらせることにより振動を起こさせる場合、上述したように、所定の円周位置がノードになる。したがって、このノードとなる円周位置に、橋梁部120の内側端を接続するような構造にすればよい。図5に示す例では、振動部110は、ノードとなる円周

位置(4か所の境界点Pをすべて通る円)を外周とする中心部と、この中心部の周囲の4か所から外方へ向けて延びる4枚の翼状部とによって構成され、いわば扇風機の羽のような平面形状をしているが、これは、橋梁部120と振動部110との接続箇所を、ノード位置に一致させるための配慮である。境界点Pをノード位置に一致させれば、振動部110の振動が橋梁部120を介して固定部130側へと伝達されるのを防ぐことができる。

【0059】さて、図示する実施形態における振動子(振動部110および重錘体140)は、結局、可撓性をもった4本の橋梁部120によって、装置筐体に固定された固定部130に対して支持されていることになる。すなわち、図5に示すように、4本の橋梁部120の内側端は、振動子の一部を構成する振動部110の中心部の4か所の境界点Pに接続されており、外側端は、固定部130の円形のくりぬき部の縁に接続されている。このように、振動子は、固定部130に対して、所定の自由度の範囲内で変位可能となるように支持されていることになる。したがって、この振動子に対して何らかの外力(装置筐体に対して、振動子を移動させようとする力)が加わると、振動子全体は、橋梁部120の可撓性に応じて定まる自由度の範囲内で変位することになる。ここでは、この振動子全体の変位状態がどうなるかを見てみよう。

【0060】図10は、図1に示す主要構造部の振動子(振動部110および重錘体140)に対して、X軸正方向への力 F_x が作用したときの変形状態を示す側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。重心Gに対して、図の右方向への力 F_x が作用したことになる。この場合、振動子は、重心Gよりも上方位置を橋梁部120によって支持されているため、全体が図のように変位することになる(振動部110の右側は上へ、左側は下へ傾斜する)。もちろん、このような変位が生じるのは、橋梁部120が可撓性を有しており、図示のような撓みが生じるためである。図11は、図1に示す主要構造部の振動子に対して、X軸負方向への力 $-F_x$ が作用したときの変形状態を示す側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。この場合、振動子の傾斜状態は、図10に示す場合と比べて左右が逆の状態になる。一方、Y軸方向への力 F_y あるいは $-F_y$ が作用したときの変形状態は、図10および図11に示す状態とほぼ同様である(この場合、Y軸に沿った切断面が、図10および図11と同じになる)。図12および図13は、図1に示す主要構造部の振動子に対して、Z軸正方向への力 F_z およびZ軸負方向への力 $-F_z$ が作用したときの変形状態を示す側断面図である(いずれもX軸に沿った切断面を示す)。

【0061】このように、図1に示す主要構造部を用いれば、振動子を図6～図8に示すように変形させて振動させることもできるし、振動子に所定の座標軸方向の外

力を加えることにより、図10～図13に示すように変位させることもできる。ここで重要な点は、振動子の振動と振動子の変位とは、別個独立した物理運動であり、角速度の作用といった特別な要因が加わらなければ、一方が他方に影響を与えることはない、という点である。図10～図13は、説明の便宜上、振動子が振動していない状態を示しているが、振動子が振動した状態のまま変位を生じることもありうる。たとえば、図10は、振動子が全体的に傾斜した状態となっているが、このような傾斜状態であっても、振動部110自身は図9に示すように、上に凸の碗状形状と下に凸の碗状形状とを交互に繰り返す変形振動を行うことができる。

【0062】本発明の目的は、加速度と角速度との双方を感度良く検出することができるようにする点にある。本願発明者は、振動子の振動に関与する機械的なパラメータと、振動子の変位に関与する機械的なパラメータとを、別個独立して設定できるような構造を採ることにより、この目的を達成することに想到したのである。ここで、機械的なパラメータとは、具体的には、振動子の振動に関与するバネ定数と、振動子の変位に関与するバネ定数である。

【0063】従来提案されている加速度と角速度との双方を検出する装置では、振動子の振動に関与する機械的な構造部分と、振動子の変位に関与する機械的な構造部分とが共通であったため、振動に関与する機械的なパラメータと変位に関与する機械的なパラメータとが共通にならざるを得なかった。たとえば、図3に示す主要構造部において、橋梁部120の撓みを利用して振動子（振動部110および重錘体140）をZ軸方向に振動させた場合を考えてみよう。従来の検出装置の基本原理は、このような方法により振動子を振動させている。この場合、振動子の振動に関与する機械的な構造部分は橋梁部120ということになる。一方、振動子の変位に関与する機械的な構造部分は、図10～図13に示す変位状態を見れば明らかなように、やはり橋梁部120ということになる。このように、振動に関与する機械的なパラメータと変位に関与する機械的なパラメータとの双方が、橋梁部120によって規定されてしまうと、これらのパラメータを別個独立して設定することができなくなる。このため、橋梁部120の機械的なパラメータ、すなわち、バネ定数を、振動子が理想的な振動を行うことができるような値に設定すると、振動子を理想的に変位させるための値とはかけ離れてしまうことになり、逆に、振動子が理想的な変位を行うことができるような値に設定すると、振動子を理想的に振動させるための値とはかけ離れてしまうことになる。

【0064】このような弊害を、より具体的な数値で示すと、次のようになる。たとえば、カメラの手振れ制御を行うために、角速度の検出を行う場合を考える。角速度の検出を行うためには、振動子を所定の周波数で振動

させる必要があるが、この振動子の振動周波数は、検出対象となる角速度の周波数帯域に比べて十分に高く設定しておかねば、十分な分解能をもった角速度検出値を得ることはできない。実際には、カメラの手振れ制御などの用途では、一般に、振動子を20kHz程度の高い周波数で振動させる必要があるとされている。そこで、橋梁部120のバネ定数を、振動の共振周波数が20kHz程度の高い周波数となるように設定すると、かなり大きなバネ定数を設定する必要がある（橋梁部120をより硬くする必要がある）。ところが、バネ定数が大きくなればなるほど、同じ外力の作用に基づく振動子の変位量は減少するため、加速度に対する検出感度は低下してしまう。逆に、加速度の検出感度を高めるために、橋梁部120のバネ定数を小さく設定すると（橋梁部120をより軟らかくすると）、振動の共振周波数が低下してしまう。具体的には、2G程度の加速度検出に適したバネ定数を設定した場合、振動の共振周波数は200Hz程度にまで低下してしまい、この程度の周波数では、身近に存在する周波数帯域に近接するため、安定した振動を得ることができなくなり、カメラの手振れ制御などの用途には不適當になる。

【0065】このように、従来提案されている加速度と角速度との双方を検出する装置には、加速度の検出感度と角速度の検出感度との双方を満足させるような設定が困難であるという問題がある。そして、その根本的な問題点は、振動子の振動に関与する機械的な構造部分と、振動子の変位に関与する機械的な構造部分とが共通であるという点にある。図3に示す構造において、橋梁部120の撓みを利用して振動子を振動させようと考えた場合、このような問題は避けられないことになる。

【0066】本発明の根本的な技術思想は、橋梁部120の撓みを利用して振動子を振動させる代りに、振動子自身の形状を変化させることにより振動子を振動させる点にある。すなわち、本発明では、図7および図8に示すように、XY平面に沿って延びる板状体を構成する振動部110の形状を変化させることにより、振動子全体の重心GをZ軸に沿って移動させ、質点をZ軸方向に振動させており、橋梁部120の撓みを利用して振動子を振動させているわけではない。このように、振動子の周期的な形状変化により重心移動を起こさせ、実質的に質点を振動させるという手法を採ることにより、振動子の振動に関与する機械的な構造部分と、振動子の変位に関与する機械的な構造部分とを別個独立させることができる。これにより、各構造部分の機械的なパラメータ、すなわち、バネ定数を別個独立して設定することが可能になる。

【0067】すなわち、図示の実施形態では、振動子の振動に関与する機械的な構造部分は、板状体からなる振動部110であり、振動に関与するバネ定数は、この振動部110の形状、厚み、材質、質量などによって決定

されるパラメータになる。別言すれば、橋梁部120の形状、厚み、材質、質量などは、振動子の振動には無関係になる。一方、振動子の変位に関与する機械的な構造部分は、振動部110を支持する4本の橋梁部120であり、変位に関与するバネ定数は、この橋梁部120の形状、厚み、材質、質量などによって決定されるパラメータになる。別言すれば、振動部110の形状、厚み、材質、質量などは、振動子の変位には無関係になる。

【0068】したがって、上述したように、カメラの手振れ制御を行うために、振動子を20kHz程度の高い周波数で振動させる設定を行うのであれば、振動部110のバネ定数を大きく設定すればよく、2G程度の加速度を感度よく検出するための設定を行うのであれば、橋梁部120のバネ定数を小さく設定すればよい。振動部110の撓みやすさと、橋梁部120の撓みやすさとは、別個独立して設計することができるので、角速度および加速度の検出用途に応じて、それぞれを最適に設計することが可能になる。すなわち、基本的な設計方針としては、振動子の変形に関する共振周波数が橋梁部120の撓みに関する共振周波数に比べて高くなるような設計を行えばよいことになる。

【0069】本願発明者は、形状の変化により重心が振動するような構造をもった振動子としては、図示の実施形態に示すような板状体（振動部110）を有する振動子が最適であると考えている。この板状体を、図9に示すように上方に凸あるいは下方に凸となるような碗状形状に変形させることは、後の§3以降で述べる実施形態に示されているように比較的容易である。もっとも、XY平面に沿って延びる板状体を、上述のように変形させることにより得られる振動は、Z軸方向に沿った振動に限定される。したがって、検出対象となる角速度は、Z軸に対して垂直な軸まわりの角速度（たとえば、X軸まわりの角速度 ω_x や、Y軸まわりの角速度 ω_y ）に限定されることになる。したがって、板状体を碗状形状に変形させることにより振動を起こさせる実施形態は、主として、X軸まわりの角速度 ω_x と、Y軸まわりの角速度 ω_y との二次元の角速度を検出する用途に適している。もちろん、加速度に関しては、図10～図13に示すように、振動子がX、Y、Zの各軸方向に変位可能であるので、三次元の加速度検出を行うことができる。

【0070】以上、本発明の典型的な実施形態に係る検出装置の主要構造部の構成と、この主要構造部の機械的な動作について説明を行った。この主要構造部の特徴は、結局、振動子の振動系と振動子の変位系とが機械的に全く独立しているという点にある。そして、このような独立した構造を可能にした要因は、振動子の振動を、これを支持する橋梁部の撓みによって生じさせるのではなく、振動子自身の形状を変形させることにより生じさせるという手法を採ったことに他ならない。この主要構造部の構成および機械的な動作は、本発明の最も重要な

要点である。

【0071】§2. 加速度検出および角速度検出の基本原理

本発明に係る検出装置は、加速度と角速度との双方を検出する装置であり、より具体的には、XYZ三次元座標系における少なくともいずれか1座標軸方向の加速度、ならびにXY平面に含まれる少なくとも1軸まわり（必ずしも座標軸まわりである必要はない）の角速度を検出する装置である。そこで、ここでは、加速度の検出原理および角速度の検出原理を述べることにする。

【0072】図14は、本発明に係る検出装置の基本的な動作原理を示す図である。この図14の目的は動作原理を説明することであるので、§1で述べた各図のような具体的な構成は示されておらず、あくまでも概念的なモデルが描かれている。このモデルでは、円筒状の筒状体200がZ軸に沿って配置されており、この筒状体200の内部に質点210が収容されている。ここで、質点210は、筒状体200の内部を上下方向に単振動運動を行っているものとする。別言すれば、質点210はZ軸方向に振動していることになる。この質点210の運動は、筒状体200の内部に限定されているので、筒状体200がZ軸上に静止している限り、質点210の運動もZ軸上の振動に限定されることになる。しかしながら、筒状体200は、可撓性をもった橋梁部220を介して固定部230に接続されているので、質点210に外力が作用すると、橋梁部220が撓みを生じることにより、筒状体200全体が変位することになる。筒状体200が傾斜してZ軸から外れると、質点210の振動運動の経路もZ軸から外れることになる。

【0073】ここで、質点210が、筒状体200に対して何らかの支持構造によって支持されていると考えてみよう。この場合、質点210を筒状体200に対して支持する支持構造と、筒状体200自体を固定部230に対して支持する支持構造（すなわち、橋梁部220）とは、別個独立した構造になっている。別言すれば、質点210を支持する支持構造のバネ定数と、筒状体200自体を支持する支持構造（すなわち、橋梁部220）のバネ定数とは、それぞれ独立して設計することができる。このような点を考慮すれば、この図14に示すモデルの機械的な構造は、§1で述べた主要構造部と等価であることがわかる。すなわち、質点210は振動子の重心Gに相当し、この質点210に対する支持構造を含めた筒状体200が振動部110に相当し、橋梁部220が橋梁部120に相当し、固定部230が固定部130に相当することになる。

【0074】さて、本発明に係る検出装置を実現するには、この主要構造部に、更にいくつかの構成要素（図14にブロック図として示す構成要素）を付加する必要がある。そのうちの1つは、Z軸方向励振部260である。このZ軸方向励振部260は、質点210をZ軸方

向に振動させる機能をもった構成要素である。もっとも、ここで「Z軸方向に振動させる」と言っているのは、あくまでもこの検出装置に外力が作用していない基準状態において（すなわち、筒状体200がZ軸上に静止している状態において）、質点210をZ軸方向に駆動させる、という意味であり、外力の作用により、筒状体200が傾斜した場合には、Z軸方向励振部260は、質点210を筒状体200に沿って駆動させることになる。§1で示した具体的な主要構造部を例にとって説明すれば、このZ軸方向励振部260は、振動子に加速度や角速度などに基づく外力が作用していない状態において、この振動子の重心GをZ軸に沿って振動させる機能をもった構成要素であり、外力の作用によって、振動子自身が傾斜した場合には、この傾斜とともに重心Gの振動軸も傾斜することになる。もちろん、重心Gの振動は、実際には、振動子の形状を周期的に変形させることによって行われる。

【0075】一方、X軸方向力検出部271、Y軸方向力検出部272、Z軸方向力検出部273は、いずれも質点210（振動子）に作用する外力を検出するための構成要素である。この例では、X軸方向の力 F_x 、Y軸方向の力 F_y 、Z軸方向の力 F_z をそれぞれ別個独立して検出するために、3つの力検出部271、272、273が設けられている。そして、検出されたX軸方向の力 F_x およびY軸方向の力 F_y は、それぞれX軸方向信号分離部281およびY軸方向信号分離部282へ与えられる。信号分離部281は、X軸方向の力 F_x に基づいて、X軸方向の加速度 α_x およびY軸まわりの角速度 ω_y を示す電気信号を出力する信号出力部として機能し、信号分離部282は、Y軸方向の力 F_y に基づいて、Y軸方向の加速度 α_y およびX軸まわりの角速度 ω_x を示す電気信号を出力する信号出力部として機能する。なお、Z軸方向力検出部273によって検出されたZ軸方向の力 F_z を示す信号は、そのままZ軸方向の加速度 α_z を示す信号として出力されることになり、Z軸方向力検出部273は、信号出力部としての機能も果たしている。

【0076】本発明に係る検出装置における加速度および角速度の基本的な検出原理は、従来の一般的な加速度センサおよび角速度センサにおける加速度および角速度の検出原理と同じである。すなわち、加速度に関しては、質点210の質量を m 、作用した加速度を α 、質点210に作用した力を F とすれば、 $F = m \cdot \alpha$ なる演算式が成り立ち、質量 m は一定であるから、質点210に作用した外力の検出結果をそのまま加速度についての検出結果として利用することができる。たとえば、X軸方向の加速度 α_x が作用すると、質点210には、X軸方向の力 F_x が作用することになるので、力の検出値 F_x をそのまま加速度の検出値 α_x として出力すればよい。一方、角速度に関しては、質量 m の質点210が第1の

軸方向に速度 v で運動しているときに、第2の軸まわりの角速度 ω が作用すると、第3の軸方向に $f_c = 2m \cdot v \cdot \omega$ なる演算式で与えられるコリオリ力が作用するという理論に基づいて求めることができる（3つの軸は互いに直交）。もっとも、§1で述べた主要構造部を利用した場合、外力が作用していない状態での振動子の振動方向は、Z軸方向に限定されるため、検出可能な角速度は、XY平面に含まれる軸まわりの角速度（具体的には、X軸まわりの角速度 ω_x や、Y軸まわりの角速度 ω_y など）に限定され、Z軸まわりの角速度 ω_z を検出することはできない。

【0077】結局、図14に示すモデルでは、質点210がZ軸方向に振動することを前提としているので、Z軸方向へのコリオリ力は生じることがない。したがって、加速度に関しては、3つの力検出部271、272、273によって、3軸方向の加速度 α_x 、 α_y 、 α_z を検出することができるが、角速度に関しては、X軸方向のコリオリ力に基づいてY軸まわりの角速度 ω_y を検出し、Y軸方向のコリオリ力に基づいてX軸まわりの角速度 ω_x を検出することができるだけである。

【0078】ところで、この検出装置に作用した外力が、加速度だけであれば、各力検出部271、272、273によって検出された力 F_x 、 F_y 、 F_z は、加速度 α_x 、 α_y 、 α_z に基づく力であるので、力 F_x 、 F_y 、 F_z の検出値を、加速度 α_x 、 α_y 、 α_z の検出値として出力することができる。また、この検出装置に作用した外力が、角速度だけであれば、力検出部271、272によって検出された力 F_x 、 F_y は、それぞれ角速度 ω_y に起因したコリオリ力および角速度 ω_x に起因したコリオリ力であるので、力 F_x 、 F_y の検出値を、角速度 ω_y 、 ω_x の検出値として出力することができる。

【0079】しかしながら、実際には、加速度と角速度との双方が同時に作用するケースが少なくない。このように、加速度と角速度とが同時に作用すると、X軸方向力検出部271が検出したX軸方向の力 F_x は、X軸方向の加速度 α_x に基づく力 f_{ax} と、Y軸まわりの角速度 ω_y に起因して生じるX軸方向のコリオリ力 f_{cy} と、の合成力となる。同様に、Y軸方向力検出部272が検出したY軸方向の力 F_y は、Y軸方向の加速度 α_y に基づく力 f_{ay} と、X軸まわりの角速度 ω_x に起因して生じるY軸方向のコリオリ力 f_{cx} と、の合成力となる。X軸方向信号分離部281およびY軸方向信号分離部282は、このような合成力 F_x 、 F_y を、加速度に基づく力 f_a と、角速度に起因して生じるコリオリ力 f_c とに分離する機能を果たす構成要素である。

【0080】具体的には、X軸方向信号分離部281は、検出されたX軸方向の力 F_x を、加速度に基づく力 f_{ax} と、角速度に起因して生じるコリオリ力 f_{cy} とに分離し、力 f_{ax} をX軸方向の加速度 α_x を示す信号

として出力し、力 f_{cx} を Y 軸まわりの角速度 ω_y を示す信号として出力する機能を有している。同様に、Y 軸方向信号分離部 282 は、検出された Y 軸方向の力 F_y を、加速度に基づく力 f_{ay} と、角速度に起因して生じるコリオリ力 f_{cy} とに分離し、力 f_{ay} を Y 軸方向の加速度 α_y を示す信号として出力し、力 f_{cy} を X 軸まわりの角速度 ω_x を示す信号として出力する機能を有している。ここで、信号分離部 281、282 において行われる処理は、基本的には、力検出部 271、272 から与えられる力 F_x 、 F_y の検出信号を、バイアス成分と振幅成分とに分離し、バイアス成分に基づいて加速度を示す電気信号を出力し、振幅成分に基づいて角速度を示す電気信号を出力する処理とすることができる。これは、検出された力をバイアス成分と振幅成分とに分離すると、バイアス成分は加速度に基づく力 f_a に対応する信号成分となり、振幅成分は角速度に起因して生じるコリオリ力 f_c に対応する信号成分となる現象に基づく処理である。このような方法で加速度成分と角速度成分とを分離することができる理論および分離処理の具体的な手法は、前掲の特開平 8-68636 号公報に詳細に開示されているが、ここでは、以下に簡単に説明を行う。

【0081】いま、質点 210 (振動子) に対して、図 15(a) に示すような Z 軸方向の振動 U_z を与えた状態において、同図(b) に示すような X 軸まわりの角速度 ω_x が作用した場合を考える。いずれも横軸は時間 t である。振動 U_z は、質点 210 の物理的な位置の変動を示しており、この例では、上下に正弦運動を行っていることになる。また、この場合に作用した角速度 ω_x は、X 軸の正の方向まわり (たとえば、時計まわり) の角速度であり、時間とともに緩やかに増加し緩やかに減少している。このときに Y 軸方向に生じるコリオリ力 f_{cy} は、 $f_{cy} = 2m \cdot v_z \cdot \omega_x$ なる関係式 (m は質点 210 の質量、 v_z は質点 210 の Z 軸方向の瞬間速度) で求まる。ここで、質点 210 の Z 軸方向の瞬間速度 v_z は、振動 U_z の位相を $(\pi/2)$ だけずらしたものになる。なぜなら、上下に正弦運動している物体の瞬間速度は、中心位置を通過する瞬間に最大になり、最上点および最下点では 0 になるからである (なお、ここでは、図 15(a) に示す振動において、下に向かう方向の速度を正とし、上へ向かう方向の速度を負とする)。質点 210 (振動子) の質量 m は一定であるから、コリオリ力 f_{cy} は、瞬間速度 v_z と角速度 ω_x との積によって定まり、図 15(c) のようなものになる。結局、図 14 のモデルにおいて、質点 210 に、図 15(a) に示すような振動 U_z を与えた状態で、図 15(b) に示すような角速度 ω_x が作用した場合には、図 15(c) に示すようなコリオリ力 f_{cy} が生じることになる。

【0082】一方、質点 210 に Y 軸方向の加速度が作用した場合には、Y 軸方向にどのような力が生じるであろうか。Y 軸方向の加速度 α_y によって生じる Y 軸方向

の力 f_{ay} は、 $f_{ay} = m \cdot \alpha_y$ なる関係式で与えられるので、与えられた加速度 α_y に比例した力 f_{ay} が生じることになる。そこで、いま、質点 210 に線形増加する加速度 α_y が与えられたとすると、図 15(d) に示すような Y 軸方向の力 f_{ay} が生じることになる。

【0083】それでは、図 14 のモデルにおいて、質点 210 に、図 15(a) に示すような Z 軸方向の振動 U_z を与えた状態で、図 15(b) に示すような X 軸まわりの角速度 ω_x が作用し、かつ、線形に増加する Y 軸方向の加速度 α_y が作用した場合には、Y 軸方向にはどのような力が観測されるであろうか。この場合は、当然ながら、図 15(c) に示すようなコリオリ力 f_{cy} と、図 15(d) に示すような加速度に基づく力 f_{ay} の和に相当する合成力が観測されることになる。図 16 に、このような合成力 $F_y = f_{cy} + f_{ay}$ を示す。結局、Y 軸方向力検出部 272 によって検出された合成力 F_y のうち、バイアス成分 f_{ay} は Y 軸方向の加速度 α_y に基づく力の成分であり、振幅成分 f_{cy} は X 軸まわりの角速度 ω_x に起因して生じるコリオリ力の成分ということになる。したがって、図 16 に示すような合成力 F_y を、バイアス成分 f_{ay} と振幅成分 f_{cy} とに分離できれば、加速度成分と角速度成分とを得ることができる。そもそも図 15(c) に示すコリオリ力 f_{cy} は、図 15(a) に示す振動 U_z を搬送波として、図 15(b) に示す角速度 ω_x を振幅変調したものである。したがって、角速度 ω_x の情報は、合成力 F_y の中においても、振幅成分としてのみ含まれていることになる。一方、図 15(d) に示す力 f_{ay} は、振動 U_z の周波数成分を含まないため、その情報は、合成力 F_y の中においても、単なるバイアス成分としてのみ含まれていることになる。このような点に着目すれば、合成力 F_y のうち、バイアス成分のみを抽出すれば加速度成分を示す力 f_{ay} を取り出すことができ、振幅成分のみを抽出すれば角速度成分を示す力 f_{cy} を取り出すことができることが理解できよう。

【0084】なお、このような原理に基づいて、加速度に基づく力 f_a と角速度に基づくコリオリ力 f_c とを分離するためには、振動 U の周波数が、検出対象となる加速度や角速度のもつ周波数に対して識別可能な十分に高い周波数でなければならない。別言すれば、本発明に係る検出装置では、検出対象となる加速度や角速度のうち、振動 U の周波数に比べて十分に低い周波数成分しか検出できないことになる。カメラの手振れ制御などの用途に利用する場合に、振動子を 20 kHz 程度の共振周波数で振動させるのが好ましい理由は、このような事情によるものである。

【0085】さて、前述のような原理に基づき、合成力 F をバイアス成分 f_a と振幅成分 f_c とに分離する方法としては、次のようなデジタル処理を利用することができる。まず、図 16 のような合成力 F_y の検出信号につ

いて、図17に示すように、変極点P1～P9を抽出する。そして、図18に示すように、各変極点P1～P9の時間軸t上の位置を示す区画線Q1～Q9を定義し、隣接する各区画線の中間位置を通る参照線Q12～Q89（図18では破線で示す）を定義する。そして、各参照線上に、その両側にある変極点の信号値の平均値をもった参照点mをプロットするのである。図19は、こうしてプロットされた参照点m1～m8を示している。たとえば、参照点m1は、変極点P1の信号値と変極点P2の信号値との平均値をもった参照線Q12上の点ということになる。このように、参照点m1～m8が得られたら、図20に示すように、これらを順に結んだ信号波形を求める。こうして得られた信号波形は、もとの合成力F_yのうちのバイアス成分f_{a y}に対応するものになり、結局、加速度 α_y に基づく力に対応するものになる。バイアス成分f_{a y}が求まれば、これをもとの合成力F_yから差し引くことにより、振幅成分f_{c y}に対応する信号波形を得ることができ、結局、コリオリ力に対応した信号波形を得ることができる。なお、角速度 ω_x の大きさは、図21に示すように、コリオリ力f_{c y}に対応した信号波形の包絡線Eを抽出することにより得られる。また、角速度 ω_x の向きは、得られたコリオリ力f_{c y}と図15(a)に示す振動U_zとの位相差により得ることができる。たとえば、図15(b)に示すような正の向きの角速度 ω_x が加わった場合には、図15(a)に示す振動U_zの波形に対して、得られるコリオリ力f_{c y}の波形は、図15(c)に示すように、($\pi/2$)だけ位相を右方へシフトさせたものになるが、負の向きの角速度 $-\omega_x$ が加わった場合には、同じ図15(a)に示す振動U_zの波形に対して、図15(c)の正負を反転させたコリオリ力波形が得られ、このコリオリ力波形は、振動U_zの波形の位相を($\pi/2$)だけ左方へシフトさせたものになる。

【0086】以上、図14に示すモデルに基づいて、本発明に係る検出装置による加速度の検出原理および角速度の検出原理を説明した。この説明により、質点210をZ軸方向に振動させた状態において、質点210に外力として作用するX軸方向の力F_x、Y軸方向の力F_y、Z軸方向の力F_zを検出することができれば、各座標軸方向の加速度 α_x 、 α_y 、 α_z を求めることができ、また、X軸まわりの角速度 ω_x およびY軸まわりの角速度 ω_y を求めることができる原理は明瞭になったであろう。また、この図14に示すモデルにおける筒状体200、質点210、橋梁部220、固定部230といった概念的な構成要素については、§1において既にその具体的な構成例を示した。ただ、この図14に示すモデルにおけるZ軸方向励振部260および各力検出部271、272、273については、これまでに機能的な説明を行っただけであり、具体的な構成例については述べられていない。そこで、以下、§1において例示した

主要構造部に適用することができるZ軸方向励振部260および各力検出部271、272、273の具体的な実施形態を述べることにする。

【0087】§3. 圧電素子を用いた基本的な実施形態
ここでは、§1で述べた主要構造部をベースとして、図14のモデルにおけるZ軸方向励振部260および各力検出部271、272、273を圧電素子を利用して構成した基本的な実施形態を述べることにする。

【0088】図22は、この圧電素子を用いた基本的な実施形態に係る検出装置の上面図である。この検出装置の中核となる構成要素は、主基板300である。ここでも、説明の便宜上、この主基板300の上面の中心位置に座標系の原点Oをとり、図の右方向にX軸、図の上方向にY軸をそれぞれとったXYZ三次元座標系を定義する（Z軸は、紙面に垂直になる）。この主基板300は、図1に示す主基板100と全く同じ構成要素であり、4か所に「C」字状の貫通スリットSを形成することにより、振動部310、橋梁部320、固定部330の3つの構成部分に分けられる（これらの各部は、図5における振動部110、橋梁部120、固定部130と全く同一である）。振動部310は、扇風機の羽のような形状をした部分であり、4枚の翼状部を有している。そして、この4枚の翼状部には、それぞれ扇形をした励振素子361～364が配置されている。また、X軸およびY軸にそった位置には、十文字状圧電素子370が配置されており、この十文字状圧電素子370の上面の所定の8か所には、検出用電極E331～E338が形成されている。

【0089】なお、図22の上面図には現れていないが、主基板300の下面中心部には円柱状の重錘体340が接合されており、下面外周部には台座350が接合されている。ここで、重錘体340は、§1で述べた主要構造部における重錘体140と全く同一の構成要素であり、台座350は、§1で述べた主要構造部における台座150と全く同一の構成要素である。結局、この図22に示す実施形態に係る検出装置は、§1で述べた主要構造部の上面に、4組の励振素子361～364と1組の十文字状圧電素子370とを付加することにより構成されていることになる。

【0090】図23は、励振素子361の斜視図である。図示のとおり、励振素子361は、平面形状が扇形をしており、板状の圧電素子360と、その下面に接合された下部電極E310と、その上面に接合された上部電極E320と、によって構成されている。他の励振素子362～364も、これと全く同一の構造を有している。図24は、振動部310上に配置された励振素子361の側断面図である。下部電極E310は、振動部310の上面に接合されている。ここで、圧電素子360は、図25の側断面図に示すような分極特性を有している。すなわち、図25(a)に示すように、下部電極E3

10側が負、上部電極E320側が正となるように、上下両電極間に電圧を印加すると、図の横方向に伸び、逆に、図25(b)に示すように、下部電極E310側が正、上部電極E320側が負となるように、上下両電極間に電圧を印加すると、図の横方向に縮む性質を有している。もっとも、このように電圧を印加すると機械的変形を生ずる圧電素子の性質は、機械的変形を加えると電圧が発生する性質と表裏一体である。したがって、この圧電素子360に対して、図25(a)に示すように、横方向に伸ばす応力を加えると、下部電極E310側が負、上部電極E320側が正となるような電圧が発生し、逆に、図25(b)に示すように、横方向に縮める応力を加えると、下部電極E310側が正、上部電極E320側が負となるような電圧が発生する。このような圧電素子の性質は、後述する十文字状圧電素子370の力検出部としての機能に利用されることになる。

【0091】さて、図24に示す励振素子361に対して、電気回路から交流電圧を供給した場合を考えてみよう。すなわち、下部電極E310と上部電極E320との間に、所定の交流電圧（一般的には、正弦波形をもった交流電圧を用いればよいが、矩形波形や鋸歯状波形をもった交流電圧でもかまわない）を供給すると、図25(a)に示す状態と、図25(b)に示す状態とが周期的に繰り返されることになる。励振素子361は、振動部310の上面に接合されているので、このような周期的な伸縮運動は、振動部310の上面へと伝達される。その結果、振動部310の上面は、その面方向に周期的に伸縮することになる。このような振動部310の上面部分の周期的な伸縮運動は、振動部310の周期的な形状変形を誘発する。すなわち、振動部310は、円盤状の板状体であり、その上面が面方向に伸びると、全体が図7の側断面図に示すように、全体として上方に凸となる碗状形状をなすように変形する。逆に、上面が面方向に縮むと、全体が図8の側断面図に示すように、全体として下方に凸となる碗状形状をなすように変形する。結局、振動部310の上面を面方向に周期的に伸縮させれば、図9に示すような周期的な変形が生じることになり、振動子の重心GをZ軸方向に振動させることができるようになる。

【0092】結局、図22に示す実施形態に係る検出装置において、4組の励振素子361～364は、振動子（振動部310と重錘体340）をZ軸方向に振動させるZ軸方向励振部として機能することになる。要するに、このZ軸方向励振部は、板状体からなる振動部310の一方の面に対して、面方向に伸ばす力と縮める力とを交互に作用させることにより、その形状を周期的に変形させる機能を果たすことになる。

【0093】なお、この図22に示す実施形態における振動子は、厳密に言えば、振動部310と、その下面に接合された円柱状の重錘体340と、上面に形成された

励振素子361～364および十文字状圧電素子370ということになり、この振動子を共振させたときのノード位置は、これら各部の形状、寸法、質量、材質などの条件によって定まることになる。したがって、実際にこの検出装置を設計する際には、これらの条件を勘案して、橋梁部320と振動部310との接続位置がノード位置となるように考慮するのが望ましい。

【0094】一方、図26は、主基板300上に配置された十文字状圧電素子370の側断面図（X軸に沿った切断面を示す）である。十文字状圧電素子370の下面全面には、共通電極E330が接合されており、この共通電極E330は、振動部310および橋梁部320の上面に接合されている。また、十文字状圧電素子370の上面の所定箇所には、8組の検出用電極E331～E338が接合されている。十文字状圧電素子370も、上述した圧電素子360と同様に、図25に示すような分極特性を有している。ただ、圧電素子360は、電圧を印加すると機械的変形を生ずる性質を利用して、振動子を振動させる励振手段として用いられているのに対し、十文字状圧電素子370は、機械的変形を加えると電圧が発生する性質を利用して、振動子に作用した外力を検出する検出手段として用いられる。すなわち、十文字状圧電素子370は、図14に示すモデルにおける各検出部271～273として機能することになり、振動子に対して作用したX軸方向の力 F_x 、Y軸方向の力 F_y 、Z軸方向の力 F_z を検出する役割を果たす。以下、この検出原理を説明する。

【0095】図27は、図22に示す検出装置における振動子（振動部310および重錘体340）に対して、X軸正方向への力 F_x が作用したときの変形状態を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示し、図が煩雑になるのを避けるため、主基板300の上面に形成されている励振素子361～364および十文字状圧電素子370の図示は省略してある。図28～図30も同様である）。すなわち、重心Gに対して、図の右方向への力 F_x が作用すると、振動子は、重心Gよりも上方位置を橋梁部320によって支持されているため、振動部310の右側は上へ、左側は下へ傾斜することになる。このような変形状態において、橋梁部320の各部に加わる応力に着目すると、図に「+」（横方向に伸びる応力を示す）あるいは「-」（横方向に縮む応力を示す）で示されているとおり、X軸正領域に位置する橋梁部320の外側（固定部330に近い方）の上面は縮み、内側（中心のZ軸に近い方）の上面は伸び、X軸負領域に位置する橋梁部320の内側の上面は縮み、外側の上面は伸びることになる。

【0096】ここで、この主基板300の上面には、図26の側断面図に示すような十文字状圧電素子370が接合されており、主基板300に生じた応力は、そのまま十文字状圧電素子370へも伝達されることになる。

ここで、この十文字状圧電素子370が図25に示すような分極特性を有していることを考慮すれば、共通電極E330の電位を基準の接地電位としたとき、検出用電極E331、E333には負の電圧が生じ、検出用電極E332、E334には正の電圧が生じることがわかる。このとき、十文字状圧電素子370のY軸に沿った部分に対しては、Y軸まわりへの捩じれ応力が加わるだけであるから、検出用電極E335～E338には有意な電圧は発生しない。一方、この振動子に対して、X軸負方向への力 $-F_x$ が作用すると、図28に示すような変形状態が得られ、各検出用電極に生じる電圧の極性は反転することになる。

【0097】このように、共通電極E330を接地した状態にすれば、振動子に対して作用したX軸方向の力は、その符号も含めて、X軸上に配置された4組の検出用電極E331～E334の発生電圧に基づいて検出することができる。全く同様にして、振動子に対して作用したY軸方向の力は、その符号も含めて、Y軸上に配置された4組の検出用電極E335～E338の発生電圧に基づいて検出することができる。

【0098】一方、図29は、図22に示す検出装置における振動子に対して、Z軸正方向への力 F_z が作用したときの変形状態を示す側断面図である。重心Gに対して、図の上方向への力 F_z が作用すると、橋梁部320の撓みにより、振動子は全体として上方へと変位する。このような変位状態において、橋梁部320の各部に加わる応力に着目すると、図示のとおり、いずれの橋梁部320に関しても、外側（固定部330に近い方）の上面は縮み、内側（中心のZ軸に近い方）の上面は伸びることになる。このため、外側に設けられた検出用電極E331、E334、E335、E338には負の電圧が生じ、内側に設けられた検出用電極E332、E333、E336、E337には正の電圧が生じることになる。これに対して、振動子にZ軸負方向への力 $-F_z$ が作用したときの変形状態は、図30に示すようになり、各検出用電極に生じる電圧の極性は反転することになる。

【0099】図31は、この検出装置の振動子に対して、符号を含めた各座標軸方向（6軸方向）に外力が作用した場合に、共通電極E330を接地するという条件下で、各検出用電極E331～E338に発生する電圧の極性を示した表である。この表の結果を踏まえれば、図32の回路図に示すような電気回路を用いることにより、振動子に作用した各座標軸方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z を符号も含めて検出できることがわかるであろう。演算器381～389は、各部の電圧を加算または減算する機能を果たしており、最終的に、出力端子 T_x 、 T_y 、 T_z に、それぞれ力 F_x 、 F_y 、 F_z の検出値が出力されることになる。しかも、このような回路を組むことにより、各出力端子 T_x 、 T_y 、 T_z には、他軸成分

の干渉を排除した正確な検出値が得られる。これらの検出値に基づいて、加速度や角速度を求める方法については、既にS2で述べたとおりである。

【0100】結局、十文字状圧電素子370、共通電極E330、検出用電極E331～E338からなる構成要素は、橋梁部320の撓みを検出する検出子として機能することになり、この検出子が検出した撓みに基づいて、振動子に作用した外力が検出されることになる。特に、ここに示す実施形態では、橋梁部320に貼り付けられた板状の圧電素子370によって検出子が構成されており、橋梁部320の撓みに起因してこの板状の圧電素子370に応力が加わるようにし、この応力に基づいて板状の圧電素子370に発生した電圧を電気信号として取り出すことにより、外力の検出がなされている。より具体的には、この実施形態に係る検出装置の場合、振動子の重心より上方位置をX軸に沿って両側から支持する2本の橋梁部と、Y軸に沿って両側から支持する2本の橋梁部と、の合計4本の橋梁部320が設けられており、X軸正領域に位置する橋梁部の外側に第1の検出子（検出用電極E331と、その下の位置する十文字状圧電素子370の一部と、共通電極E330の一部と、によって構成される検出子、以下同様）を配置し、X軸正領域に位置する橋梁部の内側に第2の検出子を配置し、X軸負領域に位置する橋梁部の内側に第3の検出子を配置し、X軸負領域に位置する橋梁部の外側に第4の検出子を配置し、Y軸正領域に位置する橋梁部の外側に第5の検出子を配置し、Y軸正領域に位置する橋梁部の内側に第6の検出子を配置し、Y軸負領域に位置する橋梁部の内側に第7の検出子を配置し、Y軸負領域に位置する橋梁部の外側に第8の検出子を配置し、図32に示す回路を用意することにより、第1の検出子の出力電圧と第3の検出子の出力電圧との和と、第2の検出子の出力電圧と第4の検出子の出力電圧との和と、の差に基づいて、X軸方向に作用した外力 F_x が検出されるようにし、第5の検出子の出力電圧と第7の検出子の出力電圧との和と、第6の検出子の出力電圧と第8の検出子の出力電圧との和と、の差に基づいて、Y軸方向に作用した外力 F_y が検出されるようにし、第1の検出子、第4の検出子、第5の検出子、第8の検出子の各出力電圧の和と、第2の検出子、第3の検出子、第6の検出子、第7の検出子の各出力電圧の和と、の差に基づいて、Z軸方向に作用した外力 F_z が検出されるようにしている。

【0101】なお、このような原理で検出を行う場合、必ずしも十文字状の圧電素子370を用意する必要はなく、各検出用電極E331～E338の配置に応じて、合計8組の個別圧電素子を用意するようにしてもかまわない。ただ、実用上は、図22に示す実施形態のように、4本の橋梁部320に跨がった十文字状の単一の圧電素子370と、この単一の圧電素子370の下面に形成された共通電極E330と、この単一の圧電素子370

0の上面の所定位置に形成された複数の個別電極E331～E338とを用意し、共通電極E330を4本の橋梁部320の上面に接合し、共通電極E330に対して各個別電極E331～E338に生じる電圧を検出する構成にすれば、全体的な構造を単純化することが可能になる。

【0102】§4. 容量素子を用いた基本的な実施形態
ここでは、§1で述べた主要構造部をベースとして、図14のモデルにおけるZ軸方向励振部260および各力検出部271、272、273を容量素子を利用して構成した基本的な実施形態を述べることにする。

【0103】図33は、この容量素子を用いた基本的な実施形態に係る検出装置に用いられる主要構造部の上面図である。この主要構造部の中核となる構成要素は、主基板400である。ここでも、説明の便宜上、この主基板400の上面の中心位置に座標系の原点Oをとり、図の右方向にX軸、図の上方向にY軸をそれぞれとったXYZ三次元座標系を定義する（Z軸は、紙面に垂直になる）。この主基板400は、図1に示す主基板100とほぼ同じ構成要素であり、4か所に「C」字状の貫通スリットSを形成することにより、振動部410、橋梁部420、固定部430の3つの構成部分に分けられる。これらの各部の機能は、図5における振動部110、橋梁部120、固定部130の機能と全く同じである。ただ、この容量素子を用いた実施形態の場合、容量素子を配置する位置の関係上、「C」字状の貫通スリットSの形成位置を、原点Oを中心として45°回転させている。別言すれば、図1に示す主基板100の場合、4本の橋梁部120が、X軸またはY軸上に配置されていたのに対し、図33に示す主基板400の場合、4本の橋梁部420は、X軸もしくはY軸に対して45°をなす軸上に配置されている。

【0104】このように、主基板400と主基板100とを比較すると、各部の幾何学的な位置が45°ずれているものの、各部の形状や構造は同じである。たとえば、振動部410は、扇風機の羽のような形状をした部分であり、4枚の翼状部を有している。ただし、4枚の翼状部は、それぞれX軸上またはY軸上に配置されている。後述するように、この各翼状部には、容量素子を構成するための電極が配置されることになる。各部の幾何学的な位置を45°ずらしたのは、この翼状部に形成される容量素子を、X軸およびY軸上に配置するための配慮である。

【0105】図34は、図33に示す主要構造部の下面図である。図示のとおり、主基板400の下面中心部には円柱状の重錘体440が接合されており、下面外周部には台座450が接合されている。ここで、重錘体440は、§1で述べた主要構造部における重錘体140と全く同一の構成要素であり、台座450は、§1で述べた主要構造部における台座150と全く同一の構成要素

である。結局、ここに示す実施形態で用いる主要構造部は、§1で述べた主要構造部とほぼ同様の構造を有しており、上述した各部の配置が45°だけずれている点だけが異なっている。

【0106】ここで述べる容量素子を利用した実施形態において、ほぼ円盤状の板状体からなる振動部410を振動させる原理は、この振動部410の中心部もしくは周囲部に対して、Z軸正方向もしくは負方向の力を周期的に作用させることにより、板状体の形状を周期的に変形させるというものである。たとえば、振動部410の中心部に対してZ軸正方向の力を加えたり、振動部410の周囲部に対してZ軸負方向の力を加えることができれば、図7に示すように上に凸となる椀状変形を起こさせることができる。逆に、振動部410の中心部に対してZ軸負方向の力を加えたり、振動部410の周囲部に対してZ軸正方向の力を加えることができれば、図8に示すように下に凸となる椀状変形を起こさせることができる。これらの変形状態を交互に起こさせれば、図9に示すような変形振動が生じ、振動子の重心がZ軸方向に振動することになる。このような椀状変形を起こさせる力を、容量素子を構成する一対の電極間のクーロン力に基づいて作用させる点が、ここで述べる実施形態の1つの特徴である。ここで述べる実施形態のもう1つの特徴は、後述するように、振動部410の変位を、容量素子の静電容量値に基づいて検出する点にある。したがって、本実施形態では、上述した構成を有する主要構造部の上下両面に、容量素子の一方を形成するための電極を形成する必要がある。

【0107】図35は、図33に示す主要構造部の上面に、合計9枚の電極を形成した状態を示す平面図である。なお、この図35では、個々の電極の形状を明瞭にするため、各電極部分にハッチングを施して示してある。したがって、この図におけるハッチングは、断面を示すものではない（図36～図38も同様）。また、図14のモデルにおけるZ軸方向励振部260として機能する電極と、力検出部271～273として機能する電極とでは、異なるハッチングパターンで示してある。すなわち、各翼状部に形成されている4枚の励振用電極E401、E402、E403、E404、および中央に形成されている円形の励振用電極E405は、Z軸方向励振部260として機能する電極であり、振動部410を変形させて振動させる働きをする。これに対して、各翼状部に形成されている4枚の検出用電極E406、E407、E408、E409は、力検出部271～273として機能する電極であり、振動部410の変位を検出する働きをする。一方、図36は、図34に示す主要構造部の下面に、電極を形成した状態を示す平面図である。すなわち、円柱状の重錘体440の底面全域に、励振用電極E415が形成されており、Z軸方向励振部260として機能する。

【0108】このように、本実施形態では、主要構造部の上面および下面に、それぞれ容量素子を構成するための一方の電極が形成されるが、容量素子のもう一方の電極を形成するために、2枚の補助基板が用いられる。図37は、主要構造部の上方に配置される上部補助基板460の下面図、図38は、主要構造部の下方に配置される下部補助基板470の上面図である。主要構造部（主基板400、重錘体440、台座450、および各電極）と、上部補助基板460と、下部補助基板470との位置関係は、図39の側断面図（X軸に沿った断面を示す）に示されているとおりである。

【0109】上部補助基板460は、図37の下面図に示されているように、主基板400と同じ大きさの正方形形状の基板であり、その周囲部には、台座465が接合されている。また、この上部補助基板460の下面には、励振用電極E461～E465と、検出用電極E466～E469とが形成されている。これらの各電極は、図35に示されている主基板400の上面に形成された各電極にそれぞれ対向する電極となっている。すなわち、上部補助基板460側に形成された9枚の電極E461～E469は、主基板400側に形成された9枚の電極E401～E409のそれぞれに対応した同一形状の電極であり、図39に示すように、主基板400の上方に上部補助基板460を配置した場合、各対応電極はそれぞれ向き合うことになり、それぞれ容量素子が形成されることになる。台座465は、両電極間のスペーサとして機能する。

【0110】一方、下部補助基板470は、図38の上面図に示されているように、主基板400と同じ大きさの正方形形状の基板であり、その上面には、励振用電極E475が形成されている。この励振用電極E475は、図36に示されている重錘体440の下面に形成された励振用電極E415に対向する電極となっている。すなわち、励振用電極E475は励振用電極E415と同一の円盤状電極であり、図39に示すように、主基板400の下方に下部補助基板470を配置した場合、両電極はそれぞれ向き合うことになり、容量素子が形成されることになる。台座450は、両電極間のスペーサとして機能する。

【0111】ここで、図39に示す3つの構成要素を互いに接合すれば、図40の側断面図（X軸に沿った切断面図）に示されているように、一式の検出装置が完成する。なお、上部補助基板460および下部補助基板470、ならびに台座450、465は、そのまま装置筐体として利用することができる（もちろん、装置筐体を別個に設け、これらを装置筐体に固定するようにしてもよい）。

【0112】続いて、この図40に示す検出装置において、振動子（振動部410と重錘体440）をZ軸方向に振動させるための原理を説明しよう。ここでは、説明

の便宜上、図39を参照しながら、各励振用電極に対して、次のような電圧供給を行うことを考える。まず、一対の電極E401～E461間、一対の電極E402～E462間、一対の電極E403～E463間、一対の電極E404～E464間（図39には示されていない）、一対の電極E415～E475間、にそれぞれ何らかの電圧を印加したとする。すると、これら一対の電極間にはクーロン引力が作用することになり、振動部410の周囲部分は上方へと引かれ、振動部410の中央部分（重錘体440の部分）は下方へと引かれることになるので、振動部410は図8に示すように、下に凸の碗状形状に変形することになる。

【0113】次に、上述した電圧供給を停止し、代りに一対の電極E405～E465間に何らかの電圧を印加したとする。すると、これら一対の電極間にクーロン引力が作用することになり、振動部410の中央部分（重錘体440の部分）は上方へと引かれることになる。このとき、振動部410の周囲部分を下方へと引くクーロン力は作用していないので、振動部410は図7に示す状態に至るほどではないにせよ、上に凸の碗状形状に変形することになる。したがって、このような2とおりの電圧印加状態を交互に繰り返すと（すなわち、対向する一対の励振用電極間に、半波整流した交流電圧や矩形波状の交流電圧を所定の位相で印加すると）、振動部410が図9に示すように周期的変形を生じるようになり、振動子の重心GをZ軸方向に振動させることができるようになる。

【0114】続いて、この図40に示す検出装置において、振動子（振動部410と重錘体440）に作用する各軸方向の力を検出するための原理を説明する。ここでは、説明の便宜上、X軸正の領域に配置された一対の検出用電極E406～E466からなる容量素子を容量素子C（+x）と呼び、X軸負の領域に配置された一対の検出用電極E407～E467からなる容量素子を容量素子C（-x）と呼び、Y軸正の領域に配置された一対の検出用電極E408～E468からなる容量素子を容量素子C（+y）と呼び、Y軸負の領域に配置された一対の検出用電極E409～E469からなる容量素子を容量素子C（-y）と呼ぶことにする。

【0115】図41は、振動子に対して、X軸正方向への力F_xが作用したときの変形状態を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す。以下、図42～図44も同様）。重心Gに対して、図の右方向への力F_xが作用すると、振動子は、重心Gよりも上方位置を橋梁部420によって支持されているため、振動部410の右側は上へ、左側は下へ傾斜することになる。このような変形状態において、対向する一対の検出用電極によって構成されている容量素子の静電容量値の変化に着目すると、X軸正の領域に配置された一対の検出用電極E406～E466の電極間距離は小さくなるため、これら一

対の電極からなる容量素子 $C(+x)$ の静電容量値は増加し、逆に、 X 軸負の領域に配置された一对の検出用電極 $E407-E467$ の電極間距離は大きくなるため、これら一对の電極からなる容量素子 $C(-x)$ の静電容量値は減少することがわかる。一方、この振動子に対して、 X 軸負方向への力 $-F_x$ が作用すると、図42に示すような変形状態が得られ、 X 軸上に配置された容量素子 $C(+x)$ および $C(-x)$ の静電容量値の増減の関係は逆転する。

【0116】結局、 X 軸正の領域に配置された容量素子 $C(+x)$ の静電容量値と、 X 軸負の領域に配置された容量素子 $C(-x)$ の静電容量値と、の差を求めれば、振動子に対して作用した X 軸方向の力 F_x を符号を含めて検出することが可能になる。全く同様に、 Y 軸正の領域に配置された容量素子 $C(+y)$ の静電容量値と、 Y 軸負の領域に配置された容量素子 $C(-y)$ の静電容量値と、の差を求めれば、振動子に対して作用した Y 軸方向の力 F_y を符号を含めて検出することが可能になる。なお、 X 軸方向の力 F_x が作用した場合、 Y 軸上に配置された容量素子の静電容量値には有意な変化は生じず、 Y 軸方向の力 F_y が作用した場合、 X 軸上に配置された容量素子の静電容量値には有意な変化は生じないため、他軸干渉のない正確な検出値が得られることになる。

【0117】一方、図43は、振動子に対して、 Z 軸正方向への力 F_z が作用したときの変形状態を示す側断面図であり、図44は、 Z 軸負方向への力 $-F_z$ が作用したときの変形状態を示す側断面図である。図43に示す変位状態では、検出用の4組すべての容量素子の電極間隔が小さくなるため、これら容量素子の静電容量値が増加し、逆に、図44に示す変位状態では、これら容量素子の電極間隔が大きくなるため、これら容量素子の静電容量値が減少することがわかる。結局、検出用の4組すべての容量素子の静電容量値の和を求めれば、振動子に対して作用した Z 軸方向の力 F_z を符号を含めて検出することが可能になる。

【0118】以上の結果を踏まえれば、図45の回路図に示すような電気回路を用いることにより、振動子に作用した各座標軸方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z を符号を含めて検出できることがわかるであろう。 C/V 変換回路481~484は、各容量素子の静電容量値を電圧値 $V1 \sim V4$ に変換する回路であり、演算器491~493は、各部の電圧を加算または減算する機能を果たしている。最終的に、出力端子 T_x 、 T_y 、 T_z に、それぞれ力 F_x 、 F_y 、 F_z の検出値が出力されることになる。しかも、このように和あるいは差を求める回路を組むことにより、各出力端子 T_x 、 T_y 、 T_z には、他軸成分の干渉を排除した正確な検出値が得られる。これらの検出値に基づいて、加速度や角速度を求める方法については、既に§2で述べたとおりである。

【0119】なお、図42に示す検出装置において、振動部410や重錘体440を導電性材料によって構成しておけば、この振動部410や重錘体440の表面の一部を、各電極として用いることができるので、個別の電極は形成する必要がなくなる。

【0120】§5. 主要構造部の変形例

ここでは、§1で述べた主要構造部の変形例を述べる。この変形例では、主要構造部の構成が若干異なっている。図46は、この変形例に係る主要構造部の上面図であり、図47はその下面図である。また、図48は、この図46に示す主要構造部を X 軸に沿って切断した側断面図であり、図49は、この図46に示す主要構造部を切断線49-49に沿って切断した側断面図であり、図50は、この図46に示す主要構造部を切断線50-50に沿って切断した側断面図である。各側断面図を見ればわかるとおり、この主要構造部の主たる構成要素は、主基板500、重錘体540、台座550である。ここで、重錘体540および台座550については、§1で述べた重錘体140および台座150と同様であり、本質的な差はない。この変形例の特徴的な部分は、主基板500の構成にある。§1で述べた主基板100は、1枚の基板の4か所に「C」字状の貫通スリット S を形成した比較的単純な構造であったが、ここに示す主基板500は、それに比べると若干複雑な構造をしている。図46に示されているとおり、貫通スリット $S1$ は、円弧状の部分だけとなっており、橋梁部520の両脇には、貫通スリットの代りに、溝状スリット $S2$ が形成されている。

【0121】この主基板500の構造の特徴は、図50の側断面図に最も明瞭に現れている。図50は、図46に示す主基板500を、橋梁部520の中央付近（切断線50-50の位置）で切断した断面図である。この図50を見ると、橋梁部520の左右両脇には、貫通スリットではなく、溝状スリット $S2$ が形成されており、橋梁部520の下方には、空隙部 $S3$ が形成されていることがわかる。要するに、この主基板500では、橋梁部520の周囲に、所定の空隙（ $S2$ 、 $S3$ ）をあけて、振動子を構成する構造体の一部分（翼状部511と円盤部513）が位置する構成となっている。すなわち、図46の上面図に示されているとおり、全体がほぼ円盤状の形態をなす振動部510は、扇風機の羽のような4枚の翼状部511と、この翼状部511の要となる中心部512と、これらの下層に位置する円盤部513と、によって構成されていることになる。

【0122】図46の上面図では、円盤部513は、溝状スリット $S2$ を通してその一部が現れているが、図47の下面図では、円盤部513の下面のほぼ全体が現れている。円盤部513は、図48および図49の側断面図にも示されているとおり、振動部510の下層をなす円盤状の部分であり、中心部512は、図49の側断面

図に示されているとおり、円盤部513の上面中央に位置する円柱状の部分であり、翼状部511は、この中心部512から外方へと伸びた4組の翼状の部分ということになる。振動部510を、このように、翼状部511、中心部512、円盤部513という3つの部分からなる構造にした理由は、全体をより円盤状に近付けるためである。図1に示されている振動部110は、全体が扇風機の羽のような形状であり、一応、ほぼ円盤状と言うこともできるが、橋梁部120の配置部分が大きくくびれた形状にならざるを得ない。これに対して、図46に示す振動部510は、上層部分に関しては、振動部110と同様に全体が扇風機の羽のような形状であり、橋梁部520の配置部分がくびれた形状になっているものの、下層部分を構成する円盤部513は完全な円盤となっており、振動部510の全体形状は、より完全な円盤に近いものになっている。

【0123】本発明に係る検出装置では、振動部510を腕状に変形させて振動を生じさせる必要があるが、このような振動を安定させるためには、振動部510の形状はできるかぎり完全な円盤に近い方が好ましい。ここで述べる変形例は、このような観点から、より円盤形状に近い振動部510を実現したものである。

【0124】なお、図示のような構造の主基板500を形成するには、三層からなるSOI基板(Silicon On Insulator)を用意して、シリコンのマイクロマシーニング技術を利用するとよい。すなわち、図51に示すように、シリコンからなる第1層L1と、酸化シリコンからなる第2層L2と、シリコンからなる第3層L3とによって構成されるSOI基板を用意し、エッチングを利用して、図示のような構造を形成すれば、主基板500を容易に作成することができる。具体的には、まず、シリコンに対する選択的なエッチング特性をもったエッチング法を利用して、第1層L1に溝状スリットS2を形成し、続いて、酸化シリコンに対する選択的なエッチング特性をもったエッチング法を利用して、第2層L2に対して溝状スリットS2を掘り下げるとともに、空隙部S3を形成し、橋梁部520を第3層L3からなる円盤部513から浮かした構造にすればよい。

【0125】§6. 容量素子を用いた実施形態の変形例
ここでは、§4で述べた容量素子を用いた基本的な実施形態についての変形例を述べる。この変形例は、§4で述べた基本的な実施形態に対して、主要構造部の構成および電極の構成において若干異なっている。図52は、この変形例に係る主要構造部の上面図であり、図53はその下面図である。また、図54は、この図52に示す主要構造部のうち的主基板600の部分の切断線54-54に沿って切断した側断面図である。主基板600は、振動部610、橋梁部620、固定部630から構成されているが、§5で述べた主要構成部の変形例と同様、振動部610は、安定した振動が可能になるよう

に、できるかぎり完全な円盤に近い形状となるような工夫がなされている。すなわち、図52に示されているとおり、貫通スリットS1は、円弧状の部分だけとなっており、橋梁部620の両脇には、貫通スリットの代りに、溝状スリットS2が形成されている。そして、振動部610は、扇風機の羽のような4枚の翼状部611と、この翼状部611の要となる中心部612と、これらの下層に位置する円盤部613と、によって構成されている。

【0126】図53の下面図に示されているように、円盤部613は完全な円盤形状をしている。また、主基板600の周囲部には、台座650が設けられている。この変形例では、主要構成部は、主基板600と台座650とによって構成されており、重錘体は用意されていない。これは、図54の側断面図にも示されているとおり、主基板600が比較的厚く、振動部610を、翼状部611、中心部612、円盤部613によって構成することができ、振動部610のみで検出に必要な質量を確保できるためである。したがって、この変形例では、ほぼ円盤状の振動部610がそのまま振動子を構成することになる。また、この変形例では、主基板600は金属やSi基板またはSOI基板などの導電性材料によって構成されており、振動部610全体も導電性材料の塊によって構成されている。このため、振動部610側には、電極は一切形成する必要はない。これは、振動部610の表面をそのまま共通電極として利用することができるからである。SOI基板を用いる場合は、§5で述べたマイクロマシーニング技術を利用して主基板600を作ることができる。

【0127】さて、§4の実施形態と同様に、この変形例においても、対向電極を設けるために、2枚の補助基板が設けられる。図55は、上述した主要構造部の上方に配置される上部補助基板660の下面図、図56は、主要構造部の下方に配置される下部補助基板670の上面図である。主要構造部(主基板600および台座650)と、上部補助基板660と、下部補助基板670との位置関係は、図57の側断面図(X軸に沿った断面を示す)に示されているとおりである。

【0128】上部補助基板660は、図55の下面図に示されているように、主基板600と同じ大きさの正方形形状の基板であり、その周囲部には、台座665が接合されている。また、この上部補助基板660の下面には、図37に示す上部補助基板460と同様に、5枚の励振用電極E661～E665と、4枚の検出用電極E666～E669が形成されている。図57に示すように、主基板600の上方に上部補助基板660を配置した場合、導電性材料から構成される振動部610は、全体が共通電極として機能し、上部補助基板660側に形成された合計9枚の電極と、振動部610の上面のこの9枚の電極にそれぞれ向かい合った部分とによって、合

計9組の容量素子が形成されることになる。台座665は、向かい合った各対応電極間のスペーサとして機能する。

【0129】一方、下部補助基板670は、図56の上面図に示されているように、主基板600と同じ大きさの正形状の基板であり、その上面には、図55に示す上部補助基板660と同様に、5枚の励振用電極E671～E675と、4枚の検出用電極E676～E679が形成されている。この点は、図38に示す下部補助基板470上の電極構成とは大きく異なっている。これは、84の実施形態では、振動部410の下面に重錘体440が接合されていたのに対し、ここに示す変形例では、振動部610の下面には重錘体は接合されていないため、より多数の電極を形成できるためである。図57に示すように、主基板600の下方に下部補助基板670を配置した場合、導電性材料から構成される振動部610は、全体が共通電極として機能し、下部補助基板670側に形成された合計9枚の電極と、振動部610の下面のこの9枚の電極にそれぞれ向かい合った部分とによって、合計9組の容量素子が形成されることになる。台座650は、向かい合った各対応電極間のスペーサとして機能する。

【0130】ここで、図57に示す3つの構成要素を互いに接合すれば、図58の側断面図(X軸に沿った切断面図)に示されているように、一式の検出装置が完成する。なお、上部補助基板660および下部補助基板670、ならびに台座650、665は、そのまま装置筐体として利用することができる(もちろん、装置筐体を別個に設け、これらを装置筐体に固定するようにしてもよい)。

【0131】続いて、この図58に示す検出装置において、振動子(振動部610)をZ軸方向に振動させるための原理を説明しよう。ここでは、説明の便宜上、各励振用電極に対して、次のような電圧供給を行うことを考える。まず、共通電極として機能する振動部610と、図55に示す上部補助基板660側の中央部に設けられた励振用電極E665(以下、上部補助中央電極と呼ぶ)との間に何らかの電圧を印加するとともに、共通電極として機能する振動部610と、図56に示す下部補助基板670側の周囲部に設けられた励振用電極E671～E674(以下、下部補助周囲電極と呼ぶ)との間に何らかの電圧を印加したとする。すると、電圧が印加された電極間にはクーロン引力が作用することになり、振動部610の中央部分は上方へと引かれ、振動部610の周囲部分は下方へと引かれることになるので、振動部610は図7に示すように、上に凸の碗状形状に変形することになる。

【0132】次に、上述した電圧供給を停止し、共通電極として機能する振動部610と、図55に示す上部補助基板660側の周囲部に設けられた励振用電極E66

1～E664(以下、上部補助周囲電極と呼ぶ)との間に何らかの電圧を印加するとともに、共通電極として機能する振動部610と、図56に示す下部補助基板670側の中央部に設けられた励振用電極E675(以下、下部補助中央電極と呼ぶ)との間に何らかの電圧を印加したとする。すると、電圧が印加された電極間にはクーロン引力が作用することになり、振動部610の中央部分は下方へと引かれ、振動部610の周囲部分は上方へと引かれることになるので、振動部610は図8に示すように、下に凸の碗状形状に変形することになる。結局、このような2とおりの電圧印加状態を交互に繰り返すと、振動部610が図9に示すように周期的変形を生じるようになり、振動子の重心GをZ軸方向に振動させることができるようになる。

【0133】理論的には、共通電極として機能する振動部610の上面には、上述した上部補助中央電極に対向する上面中央電極と、上述した上部補助周囲電極に対向する上面周囲電極と、が形成されていることになり、共通電極として機能する振動部610の下面には、上述した下部補助中央電極に対向する下面中央電極と、上述した下部補助周囲電極に対向する下面周囲電極と、が形成されていることになり、そして、上述した振動は、上面中央電極と上部補助中央電極との間にクーロン引力を作用させるとともに、下面周囲電極と下部補助周囲電極との間にクーロン引力を作用させるような第1の状態と、上面周囲電極と上部補助周囲電極との間にクーロン引力を作用させるとともに、下面中央電極と下部補助中央電極との間にクーロン引力を作用させるような第2の状態と、が交互に繰り返されるような電圧供給を行うことにより得られることになる。

【0134】続いて、この図58に示す検出装置において、振動子(振動部610)に作用する各軸方向の力を検出するための原理を説明する。ここでは、説明の便宜上、上部補助基板660の下面のX軸正の領域に配置された検出用電極E666と振動部610のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を上部容量素子C(+x)と呼び、上部補助基板660の下面のX軸負の領域に配置された検出用電極E667と振動部610のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を上部容量素子C(-x)と呼び、上部補助基板660の下面のY軸正の領域に配置された検出用電極E668と振動部610のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を上部容量素子C(+y)と呼び、上部補助基板660の下面のY軸負の領域に配置された検出用電極E669と振動部610のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を上部容量素子C(-y)と呼ぶことにする。また、下部補助基板670の上面のX軸正の領域に配置された検出用電極E676と振動部610のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を下部容量素子C(+x)と呼び、下部補助基板670

の上面のX軸負の領域に配置された検出用電極E 6 7 7と振動部6 1 0のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を下部容量素子CC (-x)と呼び、下部補助基板6 7 0の上面のY軸正の領域に配置された検出用電極E 6 7 8と振動部6 1 0のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を下部容量素子CC (+y)と呼び、下部補助基板6 7 0の上面のY軸負の領域に配置された検出用電極E 6 7 9と振動部6 1 0のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を下部容量素子CC (-y)と呼ぶことにする。

【0135】ここで、この図58に示す検出装置における振動子(振動部6 1 0)に対して、X軸正方向への力F xが作用すると、図41とほぼ同じ変形状態が得られることになるので、上部容量素子C (+x)および下部容量素子CC (-x)の静電容量値は増加し、上部容量素子C (-x)および下部容量素子CC (+x)の静電容量値は減少することがわかる。また、X軸負方向への力-F xが作用すると、図42とほぼ同じ変形状態が得られ、上部容量素子C (+x)および下部容量素子CC (-x)の静電容量値は減少し、上部容量素子C (-x)および下部容量素子CC (+x)の静電容量値は増加することがわかる。したがって、上部容量素子C (+x)の静電容量値と下部容量素子CC (-x)の静電容量値との和と、上部容量素子C (-x)の静電容量値と下部容量素子CC (+x)の静電容量値との和と、の差を求めれば、振動子に対して作用したX軸方向の力F xを符号を含めて検出することが可能になる。全く同様に、上部容量素子C (+y)の静電容量値と下部容量素子CC (-y)の静電容量値との和と、上部容量素子C (-y)の静電容量値と下部容量素子CC (+y)の静電容量値との和と、の差を求めれば、振動子に対して作用したY軸方向の力F yを符号を含めて検出することが可能になる。

【0136】また、振動子に対して、Z軸正方向への力F zが作用すると、図43とほぼ同じ変形状態が得られ、Z軸負方向への力-F zが作用すると、図44とほぼ同じ変形状態が得られることを考慮すれば、上部容量素子C (+x)、C (-x)、C (+y)、C (-y)の各静電容量値の和と、下部容量素子CC (+x)、C (-x)、CC (+y)、CC (-y)の各静電容量値の和と、の差を求めれば、振動子に対して作用したZ軸方向の力F zを符号を含めて検出することが可能になる。なお、X軸方向の力F xが作用した場合、Y軸上に配置された容量素子の静電容量値には有意な変化は生じず、Y軸方向の力F yが作用した場合、X軸上に配置された容量素子の静電容量値には有意な変化は生じないため、他軸干渉のない正確な検出値が得られることになる。

【0137】以上の結果を踏まえれば、たとえば、図59(a)の回路図に示すような電気回路を用いることによ

り、振動子に作用した各座標軸方向の力F xを符号を含めて検出でき、図59(b)の回路図に示すような電気回路を用いることにより、振動子に作用した各座標軸方向の力F yを符号を含めて検出でき、図59(c)の回路図に示すような電気回路を用いることにより、振動子に作用した各座標軸方向の力F zを符号を含めて検出できることがわかるであろう。C/V変換回路6 8 1~6 8 6は、各容量素子の静電容量値を電圧値V1~V6に変換する回路であり、演算器6 9 1~6 9 3は、各部の電圧を加算または減算する機能を果たしている。最終的に、出力端子T x、T y、T zに、それぞれ力F x、F y、F zの検出値が出力されることになる。しかも、このように和あるいは差を求める回路を組むことにより、各出力端子T x、T y、T zには、他軸成分の干渉を排除した正確な検出値が得られる。なお、図59(a)、(b)に示す2つの回路と、図59(c)に示す回路とを同時に組むことはできないので、力F x、F y、F zのすべての検出値が必要な場合には、個々の容量素子ごとにそれぞれC/V変換回路を設けて静電容量値を電圧値に変換した後、演算器を用いて加算または減算を行うようにする必要がある。また、後述するように、同一の電極を励振用電極と検出用電極とを兼ねる兼用電極として利用するのであれば、励振用電極E 6 6 5、E 6 7 5を検出用電極として兼用し、兼用電極E 6 6 5と振動部6 1 0とによって構成される容量素子の静電容量値と、兼用電極E 6 7 5と振動部6 1 0とによって構成される容量素子の静電容量値と、の差に基づいてZ軸方向の力F zを検出することも可能である(この場合、同一の電極を用いて、検出用の動作と励振用の動作とを別個独立して行うことができる回路が必要になる。)。このような兼用電極を利用した変形例は、以下に述べる。

【0138】続いて、上述した変形例についての更なる変形例を述べておく。上述した変形例では、図55に示す上部補助基板6 6 0の下面や、図56に示す下部補助基板6 7 0の上面には、それぞれ合計9枚の電極(5枚の励振用電極と4枚の検出用電極)が形成されていた。しかしながら、電気回路を工夫すれば、物理的に同一の電極を励振用電極として利用するとともに検出用電極として利用することが可能である。このような兼用電極(励振用電極と検出用電極とを兼ねる電極)を利用するのであれば、図60に下面図を示すような上部補助基板6 6 0Aと、図61に上面図を示すような下部補助基板6 7 0Aと、を代りに用いるようにすればよい。図60に示す上部補助基板6 6 0Aには、図56に示す上部補助基板6 6 0と同様に、周囲に台座6 6 5Aが形成されている。ただ、電極は、5枚の兼用電極E E 6 6 1~E E 6 6 5が設けられているだけである。また、図61に示す下部補助基板6 7 0Aにも、5枚の兼用電極E E 6 7 1~E E 6 7 5が設けられているだけである。

【0139】このように、上部補助基板6 6 0A側に形

成された5枚の兼用電極と、下部補助基板670A側に形成された5枚の兼用基板と、の合計10枚の兼用電極を用いるようにすれば、より少ない電極構成で、この検出装置を動作させることができる。まず、合計10枚の兼用電極を励振用電極として利用すれば、上述した10枚の励振用電極E661～E665、E671～E675を利用した励振動作と全く同じ方法で、振動部610を振動させることができる。一方、合計10枚の兼用電極を検出用電極として利用すれば、上述した8枚の検出用電極E666～E669、E676～E679を利用した検出動作よりも更に柔軟な方法で、各軸方向に作用した外力の検出が可能になる。すなわち、X軸上に配置された検出用電極を用いてX軸方向の力 F_x を検出し、Y軸上に配置された検出用電極を用いてY軸方向の力 F_y を検出する点は、上述の検出動作と同様であるが、Z軸方向の力 F_z を検出する際には、Z軸と交差する位置に配置された兼用電極E665、675を利用することが可能になる。具体的には、兼用電極E665と振動部610のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を上部容量素子 $C(z)$ と呼び、兼用電極E675と振動部610のこれに対向する部分とによって構成される容量素子を下部容量素子 $CC(z)$ と呼ぶことにすれば、上部容量素子 $C(z)$ の静電容量値と下部容量素子 $CC(z)$ の静電容量値との差として、Z軸方向の力 F_z を検出することが可能になる。

【0140】図62は、このような10枚の兼用電極を利用した検出回路の一例を示す回路図である。合計10組の容量素子が形成されており、いずれも共通電極として機能する振動部610側が接地されている。 C/V 変換回路685a～685jは、各容量素子の静電容量値を電圧値に変換する回路である。演算器695a～695d、696a～696cは、各部の電圧を加算または減算する機能を果たしている。最終的に、出力端子 T_x 、 T_y 、 T_z に、それぞれ力 F_x 、 F_y 、 F_z の検出値が出力されることになる。しかも、このように和あるいは差を求める回路を組むことにより、各出力端子 T_x 、 T_y 、 T_z には、他軸成分の干渉を排除した正確な検出値が得られる。

【0141】以上、容量素子を用いて振動部610に作用する外力を検出するための電極配置、検出回路、検出原理を説明した。ここで、検出原理として、図10～図13に示す変形態様を引用して各容量素子の電極間距離が変化することを示した。実は、作用した外力が加速度だけの場合は、この図10～図13に示す変形態様のとおりであるが、作用した外力に角速度が含まれていると、振動部610にアンバランスな撓みが生じることになる。これは、角速度に起因して生じるコリオリ力の向きが、振動部610の振動周波数に同期して反転するため、振動部610の変形が慣性モーメントの影響を受けるためである（このようなアンバランスな撓みが生じる

現象の詳細については、後に、§8において、図67を参照して説明する。§8の変形例は、このようなアンバランスな撓みを検出することにより、コリオリ力検出を行う例である）。しかしながら、振動部610に、このようなアンバランスな撓みが生じたとしても、上述した電極配置および上述した検出回路によって、振動部610に作用した外力の検出が可能になることに何ら変わりはない。こうして検出された外力には、加速度に基づく力 f_a と角速度に起因して生じたコリオリ力 f_c が含まれているが、これらの力 f_a 、 f_c を分離することにより、加速度および角速度の双方を検出することができる点は、§2で述べたとおりである。

【0142】§7. 圧電素子を用いた実施形態の変形例(1)

ここでは、§3で述べた圧電素子を用いた基本的な実施形態についての変形例を述べる。この変形例は、§3で述べた基本的な実施形態に対して、主要構造部の構成および圧電素子の構成において若干異なっている。図63は、この変形例に係る検出装置の上面図である。また、図64は、この図63に示す検出装置をX軸に沿って切断した側断面図であり、図65は、切断線65-65に沿って切断した側断面図である。主基板700は、振動部710、橋梁部720、固定部730から構成されており、§5で述べた主基板500と全く同じ構成のものである。ただ、この主基板700の上面には、主基板700に形成された貫通スリットS1および溝状スリットS2と同一のスリットが形成された板状圧電素子760が配置されているため、図63の上面図では、主基板700はすべて板状圧電素子760によって覆われた状態となっている。図63において、760(710)、760(720)、760(730)なる符号で示した部分は、板状圧電素子760の下に、それぞれ振動部710、橋梁部720、固定部730が存在する領域であることを示している。

【0143】図64および図65の側断面図には、主基板700の上面全面に1枚の板状圧電素子760が配置されている様子が明瞭に示されている。実際には、主基板700の上面には、導電層からなる共通電極E760が形成されており、板状圧電素子760は、この共通電極E760の上面に貼り合わされている。また、板状圧電素子760の上面の所定箇所には、共通電極E760に対向する複数の個別電極として、図63に示すように、検出用電極E731～E738および励振用電極E761～E764が形成されている。検出用電極E731～E738の配置は、図22に示す実施形態における検出用電極E331～E338の配置と全く同じである。また、励振用電極E761～E764の配置は、図22に示す実施形態における励振素子361～364の配置と全く同じである。

【0144】図22に示す実施形態と図63に示す変形

例との第1の相違点は、前者では振動部310が扇風機の羽のような形状をした単純な板状体であるのに対して、後者では振動部710が、図64の側断面図に示されているとおり、翼状部711と、中心部712と、円盤部713とによって構成されたより円盤に近い構造体（§5で述べた構造）となっている点である。なお、主基板700の下面中心部に円柱状の重錘体740が接合され、下面周囲部に台座750が接合されている点は、図22に示す実施形態の構造と同様である。

【0145】図22に示す実施形態と図63に示す変形例との第2の相違点は、前者では振動部310の上面に、4組の励振素子361～364（図23に示すように、いずれも、扇形をした圧電素子360の上下両面を電極で挟んだ構造を有する）と、1組の十文字状圧電素子370とが配置されているのに対して、後者では振動部710を含む主基板700の上面全面に、単一の板状圧電素子760が配置されている点である。すなわち、図22に示す実施形態では、合計5組の個別の圧電素子を用意する必要があるが、図63に示す変形例では、単一の板状圧電素子760を用意するだけで足りることになる。

【0146】この変形例では、板状圧電素子760の下面に形成された共通電極E760が、板状圧電素子760の上面に形成された各個別電極E731～E738、E761～E764のすべてに対向する共通電極となるが、振動子（振動部710と重錘体740）を振動させるための動作や、振動子に作用した各座標軸方向の力を検出する方法は、図22に示す実施形態と同様である。すなわち、共通電極E760と各励振用電極E761～E764との間に交流電圧を供給することにより、板状圧電素子760の各部を横方向に伸縮させれば、この伸縮運動が振動部710の上面へと伝達され、板状体を形成する振動部710が周期的に変形し振動することになる。また、共通電極E760を基準電位としたときの各検出用電極E731～E738の電圧を検出することにより、振動子に作用した各座標軸方向の力を検出できる。

【0147】§8. 圧電素子を用いた実施形態の変形例(2)

ここでは、§3で述べた圧電素子を用いた基本的な実施形態についての別な変形例を述べる。この変形例は、§7で述べた変形例に更なる変更を加えたものであり、図66にその上面図を示す。図66に示す変形例の大部分の構成は、図63に示す変形例の構成と同じである。すなわち、主基板800は、振動部810、橋梁部820、固定部830から構成されており、§7で述べた主基板700と全く同じ構成のものである。主基板800の上面全面は、1枚の板状圧電素子860によって覆われた状態となっており、図66において、860(810)、860(820)、860(830)なる符号で

示した部分は、板状圧電素子860の下に、それぞれ振動部810、橋梁部820、固定部830が存在する領域であることを示している。主基板800の上面には、導電層からなる共通電極E860が形成されており、板状圧電素子860は、この共通電極E860の上面に貼り合わされている。また、板状圧電素子860の上面の所定箇所には、共通電極E860に対向する複数の個別電極として、図66に示すように、検出用電極E831～E838、励振用電極E861～E864、そして検出用電極E865～E868が形成されている。検出用電極E831～E838の配置は、図63に示す変形例における検出用電極E731～E738の配置と全く同じである。また、励振用電極E861～E864の配置は、図63に示す変形例における励振用電極E761～E764の配置と基本的には同じである（ただ、面積は小さくなっている）。

【0148】結局、図63に示す変形例と図66に示す変形例との構造上の相違点は、新たに、4組の検出用電極E865～E868が付加された点だけであり、この4組の検出用電極E865～E868を配置するスペースを確保するために、励振用電極E861～E864の面積が縮小されたことになる。このように、構造上の相違点はわずかであり、振動子を振動させる動作は、図22に示す実施形態や図63に示す変形例と全く同一である。すなわち、共通電極E860と各励振用電極E861～E864との間に交流電圧を供給することにより、板状圧電素子860の各部を横方向に伸縮させれば、この伸縮運動が振動部810の上面へと伝達され、板状体を形成する振動部810が周期的に変形し振動することになる。

【0149】ただ、振動子に作用する力の検出原理に関しては根本的な点において相違する。すなわち、図22に示す実施形態や、図63に示す変形例では、振動子に作用する力を橋梁部の上に配置された圧電素子によって検出しているが、図66に示す変形例では、振動子に作用する力を橋梁部820の上に配置された圧電素子によって検出するとともに（検出用電極E831～E838を用いた検出）、振動部810の上に配置された圧電素子によっても検出することができる（検出用電極E865～E868を用いた検出）。このように、2とおりの検出方法を設けておくことは、加速度に基づく力と、角速度に起因して生じるコリオリ力に基づく力と、をそれぞれ効率良く検出する上で意味がある。その理由を以下に述べる。

【0150】本発明の検出装置は、加速度と角速度との双方を検出する装置であり、Z軸方向に振動中の振動子には、加速度に基づく力 f_a と、角速度に起因して生じるコリオリ力に基づく力 f_c と、の合成力 F が作用することは、既に§2で述べたとおりである。そして、振動子にこのような合成力 F が作用すると、橋梁部に撓みが

生じ、振動子全体が変位することになる。これまで述べてきた圧電素子を用いた実施形態や変形例は、いずれも橋梁部の撓みを、この橋梁部の上に配置した圧電素子によって検出することにより、振動子に作用した合成力 F を検出するという原理に基づいている。具体的には、橋梁部の上に配置された圧電素子の各部に発生する電圧をモニタすることにより、作用した合成力 F の方向と大きさを認識し、この合成力 F を、加速度に基づく力 f_a （バイアス成分）と、角速度に起因して生じるコリオリ力に基づく力 f_c （振幅成分）とに分離している。

【0151】ところが、このような原理に基づく力検出では、場合によっては十分な感度をもった検出結果を得ることができない。たとえば、カメラの手振れ制御などの用途に角速度の検出結果を利用する場合、振動子の共振周波数は20kHz程度に設定するのが好ましく、一方で、2G程度の加速度検出に適した加速度センサを実現するためには、橋梁部の共振周波数は200Hz程度に設定するのが好ましい。本発明では、振動子のバネ定数と橋梁部のバネ定数とを、別個独立して設定することができるため、振動子の共振周波数を20kHz程度に設定しつつ、橋梁部の共振周波数を200Hz程度に設定することが可能になる。しかしながら、このような共振周波数をもった検出装置を設計すると、振動子に作用するコリオリ力 f_c は、20kHzの振動成分をもった力成分になるため、共振周波数が200Hz程度になるように設計された橋梁部には伝達しにくくなる。すなわち、比較的低い共振周波数になるように設計された橋梁部は、比較的高い周波数成分をもったコリオリ力に 대응することができず、せっかく振動子上で十分な大きさのコリオリ力 f_c が発生したとしても、橋梁部にまで十分に伝達されずに減衰してしまうことになる。その結果、橋梁部の撓みとして検出された合成力 F に含まれるコリオリ力 f_c の成分は小さくなり、加速度の検出感度に比べて角速度の検出感度が低下するという問題が生じることになる。

【0152】図66に示す変形例は、このような問題を解消するために効果的である。すなわち、この変形例に係る検出装置では、加速度に基づく力 f_a は、これまで述べてきた圧電素子を利用した検出装置と同様に、橋梁部の撓みとして検出される。具体的には、橋梁部の上方に配置された検出用電極E831～E838の電圧に基づいて、これまでの説明どおりの力検出が行われる。ところが、コリオリ力 f_c は、振動子を構成する板状体（振動部810）の撓みとして検出されることになる。具体的には、振動部810の上方に配置された検出用電極E865～E868の電圧に基づく力検出が行われることになる。

【0153】このように、振動部810の撓みとしてコリオリ力 f_c を検出する原理を、図67を参照しながら説明しよう。なお、この図67では、右方向にX軸の代

りにX'軸（図66の上面図における斜め45°の方向を向いた軸）がとられている。いま、図67(a)に示すように、振動部810および重錘体840からなる振動子が、基準位置（固定部830と同様に上面がXY平面上に一致する位置）に静止している状態を考える。このような状態では、振動部810には撓みは生じていない。したがって、図示されている検出用電極E865、E867（ここでは、説明の便宜上、板状圧電素子860の図示を省略して、振動部810の上面に直接描いている）には何ら電圧は発生しない。

【0154】ところが、この振動子の重心Gが、Z軸方向（正方向でも負方向でもかまわない）に運動中に、X'軸の正方向にコリオリ力 $f_{cx'}$ が作用したとすると、図67(b)に示すように、振動部810は、図において右上がりの状態に傾斜することになる。もっとも、このコリオリ力 $f_{cx'}$ の大きさは、重心Gの瞬間速度に比例するので、重心GがZ軸方向に単振動しているとすれば、コリオリ力 $f_{cx'}$ の大きさは、正弦波の振幅と同様の変化を生じる（半周期ごとに向きも逆転することになる）。したがって、たとえば、図67(b)の状態が、重心GがZ軸正方向に移動中の状態であるとすれば、その半周期後には、重心GはZ軸負方向に移動中の状態となり、図67(c)に示すように、コリオリ力 $f_{cx'}$ の向きは逆転していることになる。このように、コリオリ力の大きさおよび向きが周期的に変化することを考慮すれば、振動部810の傾斜状態も周期的に変化することがわかるであろう。たとえば、図67(b)の状態は、振動部810の右が上がり左が下がる方向に傾斜しつつある状態であり、図67(c)の状態は、振動部810の右が下がり左が上がる方向に傾斜しつつある状態である。

【0155】このように、重心GのZ軸方向への振動周期に合わせて、振動部810の傾斜状態が動的に変化すると、振動部810は慣性モーメントの影響を受けて、図示のように撓むことになる。すなわち、検出用電極E865、E867の配置位置に着目すれば、図67(b)に示す瞬間には、検出用電極E865の形成部分は横方向に伸び、検出用電極E867の形成部分は横方向に縮むような撓みが生じることになる。逆に、図67(c)に示す瞬間には、検出用電極E865の形成部分は横方向に縮み、検出用電極E867の形成部分は横方向に伸びるような撓みが生じることになる。もっとも、実際には、重心GをZ軸方向に振動させるために、振動部810は、全体として上に凸の枕状変形状態になったり、下に凸の枕状変形状態になったりしているため、図67(b)、(c)に示す振動部810の撓み状態は、必ずしも正確ではない。ただ、振動部810が上に凸の枕状変形状態になっていても、下に凸の枕状変形状態になっていても、X'軸方向へのコリオリ力 $f_{cx'}$ が作用した場合、このX'軸上の「Z軸を挟んで相対する2地点」の

伸縮状態は必ずアンバランスになる。たとえば、図67(b)に示す瞬間であれば、検出用電極E865、E867の配置位置は、いずれも横方向に伸びている状態（下に凸の腕状変形状態）になっているかもしれないが、それでも両位置の伸び状態を比較すれば、検出用電極E865の位置の方が、検出用電極E867の位置に比べて、より伸びている状態になるはずである。

【0156】このアンバランス状態は、検出用電極E865、E867の電圧の差をとることにより検出が可能である。そして、このアンバランス状態の検出値は、振動子に作用したX'軸方向へのコリオリ力 $f_{cx'}$ に相当するものになり、X'軸に直交するY'軸まわりの角速度 $\omega_{y'}$ を示すものになる。結局、共通電極E860を接地した状態にして、検出用電極E865～E868について、図68に示すような検出回路を組み、演算器881、882によって電圧差を求めれば、出力端子T x' およびT y' には、それぞれX'軸方向へのコリオリ力 $f_{cx'}$ （Y'軸まわりの角速度 $\omega_{y'}$ を示す）およびY'軸方向へのコリオリ力 $f_{cy'}$ （X'軸まわりの角速度 $\omega_{x'}$ を示す）が出力されることになる。作用したコリオリ力は、共振周波数の低い橋梁部820ではなく、共振周波数の高い振動部810の撓みとして検出されるので、減衰することはない。かくして、角速度についても感度を低下させることなしに検出が可能になる。

【0157】要するに、図66に示す変形例の特徴は、板状体である振動部810に板状圧電素子860を貼り付けて検出子を構成し、この振動部810の撓みに起因して板状圧電素子860に応力が加わるようにし、この応力に基づいて板状圧電素子860に発生した電圧をコリオリ力を示す電気信号として取り出す点にある。より具体的には、振動部810上に、Z軸と交差する所定の検出軸X'（あるいはY'）を定義し、この検出軸X'（あるいはY'）上のZ軸を挟んで相対する第1の地点および第2の地点（検出用電極E865、E867の配置地点、あるいは検出用電極E866、E868の配置地点）を定義し、第1の地点に振動部810の伸縮状態を検出する第1の検出子を配置し、第2の地点に振動部810の伸縮状態を検出する第2の検出子を配置し、第1の検出子の検出値と第2の検出子の検出値との差に基づいて、検出軸方向に作用したコリオリ力を検出することになる。なお、図66に示す変形例では、電極E861～E864を励振用電極とし、電極E865～E868を検出用電極とした例を述べたが、励振用電極と検出用電極とは、物理的な電極としては全く同じもののので、電極E861～E864を検出用電極とし、電極E865～E868を励振用電極として用いることも可能である。

【0158】ところで、図66に示す変形例では、加速度については、検出用電極E831～E838を用いる

ことにより、X軸方向の加速度 α_x 、Y軸方向の加速度 α_y 、Z軸方向の加速度 α_z を検出することが可能であるが、角速度については、上述したように、検出用電極E865～E868を用いると、X'軸まわりの角速度 $\omega_{x'}$ とY'軸まわりの角速度 $\omega_{y'}$ が得られることになり、X軸まわりの角速度 ω_x とY軸まわりの角速度 ω_y が得られるわけではない。このように、角速度に関しての検出軸が加速度に関しての検出軸に対して45°ずれてしまうのは、加速度検出用の検出用電極E831～E838と角速度検出用の検出用電極E865～E868とを重ねて配置することが困難なためである。すなわち、図66に示されているように、加速度検出用の検出用電極E831～E838はX軸およびY軸に沿って配置されているが、角速度検出用の検出用電極E865～E868はX軸およびY軸に沿って配置することが困難であるため、やむを得ず、45°ずれたX'およびY'軸に沿って配置せざるを得なかったためである。もちろん、用途によっては、角速度に関しての検出軸と加速度に関しての検出軸とが45°ずれてしまっても問題が生じない場合もある。しかしながら、当然、両者を一致させた方が好ましい場合も少なくない。

【0159】図69に上面図を示す変形例は、このような課題に対処するための解決策を示すものである。ここで、主基板800Aの構成は、図66に示す主基板800の構成とほぼ同じであるが、電極の構成だけが異なっている。すなわち、図66に示す主基板800上に形成されている8枚の電極E861～E868が、それぞれA、Bの符号を付して示す2枚の電極に分割されている。たとえば、図66に示された電極E861は、図69に示す変形例では、2枚の電極E861A、E861Bに分割されている。このように、各電極をそれぞれ2枚に分割し、合計16枚の電極を構成すれば、疑似的に、X軸およびY軸に沿って配置した電極を用いたのと同じ検出結果を得ることができる。たとえば、電極E865Aと電極E868Bとを1つの電極と考えれば、これはX軸の正の部分に配置された電極として取り扱うことができる。同様に、電極E866Bと電極E867Aとを1つの電極と考えれば、これはX軸の負の部分に配置された電極として取り扱うことができる。したがって、電極E865Aの電圧と電極E868Bの電圧との和と、電極E866Bの電圧と電極E867Aの電圧との和と、の差を求めれば、X軸方向に作用したコリオリ力 f_{cx} の値が得られ、Y軸まわりの角速度 ω_y を検出することができる。同様に、電極E865Bの電圧と電極E866Aの電圧との和と、電極E867Bの電圧と電極E868Aの電圧との和と、の差を求めれば、Y軸方向に作用したコリオリ力 f_{cy} の値が得られ、X軸まわりの角速度 ω_x を検出することができる。

【0160】図70は、このような原理に基づいて、図69に示す検出装置を用いて角速度を出力する検出回路

の回路図である。演算器883～888によって電圧の和および差を求めれば、出力端子TxおよびTyには、それぞれX軸方向へのコリオリ力 f_{cx} （Y軸まわりの角速度 ω_y を示す）およびY軸方向へのコリオリ力 f_{cy} （X軸まわりの角速度 ω_x を示す）が出力されることになる。

【0161】なお、図69に示す検出装置において、振動子をZ軸方向に振動させるための励振用電極としては、電極E861A、B、電極E862A、B、電極E863A、B、電極E864A、Bをそのまま用いればよい。この励振用電極の方は、A、Bの2つに分割する必要はないが、励振用電極と検出用電極とを逆にして動作させる便宜も考慮して、こちらも2つに分割した構成にしてある。

【0162】§9. 圧電素子を用いた実施形態の変形例(3)

ここでは、§3で述べた圧電素子を用いた基本的な実施形態についての更に別な変形例を述べる。図71は、この変形例に係る検出装置の上面図、図72は、この検出装置をX軸に沿って切断した側断面図である（電極については、断面に現れる部分のみが描かれている）。この検出装置の中核となる主要構造部は、§1で述べた主要構造部と全く同一のものである。したがって、主基板900は、図1に示す主基板100と全く同一のものである。すなわち、主基板900は、振動部910、橋梁部920、固定部930から構成されており、その下面中心部には、円柱状の重錘体940が接合されており、その下面周囲部には、台座950が接合されている。ただ、主基板900の上面全面は、1枚の板状圧電素子960によって覆われた状態となっており、図71において、960(910)、960(920)、960(930)なる符号で示した部分は、板状圧電素子960の下に、それぞれ振動部910、橋梁部920、固定部930が存在する領域であることを示している。また、図72に示すように、主基板900と板状圧電素子960との間には、共通電極は形成されておらず、主基板900の上面に板状圧電素子960が直接接合されている。これは、この変形例の場合、板状圧電素子960の上下両面に電極を形成する必要がないためである。

【0163】本変形例の特徴は、上下両面に電極を形成するタイプの圧電素子の代りに、上面のみに多数の指状電極群を形成するタイプの圧電素子を用いるようにした点にある。図71に太線で描かれている電極が、この指状電極群である。たとえば、X軸の正領域の橋梁部920の右側に配置された電極E931Aは1組の指状電極群であり、Y軸方向に伸びた2本の指状電極とこれらを連結する連結部とによって構成されている。同様に、電極E931Bも1組の指状電極群であり、同じくY軸方向に伸びた2本の指状電極とこれらを連結する連結部とによって構成されている。そして、この1組の指状電極

群E931Aと、もう1組の指状電極群E931Bとは、各指状電極群に属する指状電極が交互に並ぶように交差して配置されている。このように、互いに交差するように配置された一対の指状電極群が、橋梁部920上に合計8対設けられている（Y軸に沿って配置された指状電極群の対については、図が煩雑になるのを避けるため、符号は省略した）。また、振動部910の4枚の翼状部にも、それぞれ2対ずつ、指状電極群の対が配置されており、合計8対が設けられている。たとえば、右上の翼状部には、指状電極群E961AとE961Bとが交差するように配置されて対を形成しており、同様に、指状電極群E965AとE965Bとが交差するように配置されて対を形成している。これら翼状部に配置された各指状電極群は、円弧状に伸びる2本の指状電極を有している。

【0164】結局、板状圧電素子960の上面には、互いに同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第1の指状電極群と、同じく、互いに同一方向に伸びる複数の指状電極からなる第2の指状電極群とを、第1の指状電極群に属する指状電極と第2の指状電極群に属する指状電極とが交互に並ぶように配置した電極対が、合計16対だけ配置されていることになる。このように、片面に一対の指状電極群が形成された圧電素子は、1つの励振素子として機能させることもできるし、1つの検出子として機能させることもできる。

【0165】このような機能を果たさせるためには、図73の側断面図に示すような分極特性を有する板状圧電素子960を用いるようにする。すなわち、板状圧電素子960の上面に、ほぼ同一方向に伸びた複数の指状電極EE（長手方向が紙面に垂直方向を向いている）を形成し、隣接する指状電極EEごとに正、負、正、負、…というように逆極性の電圧を印加すると、図73(a)に示すように、横方向に伸びるような機械的変形が生じ、印加電圧の極性をすべて反転させると、図73(b)に示すように、横方向に縮むような機械的変形が生じるような分極特性を施しておく。このような分極特性が施されていると、図73(a)に示すように、横方向に伸ばすような機械的応力を加えると、図示のとおり、各指状電極に所定極性の電荷が発生し、逆に、図73(b)に示すように、横方向に縮めるような機械的応力を加えると、図示のとおり、各指状電極に所定極性の電荷が発生する性質を呈する。

【0166】したがって、第1の指状電極群と第2の指状電極群とを交差させて配置した一対の指状電極群について、電気回路から第1の指状電極群と第2の指状電極群との間に所定の交流電圧を供給すれば、その下の圧電素子の一部分は周期的に伸縮することになり、当該圧電素子の一部分は励振素子として機能することになる。逆に、圧電素子の特定の部分に伸縮応力が加わると、第1の指状電極群と第2の指状電極群との間に所定の電圧が

生じることになるので、当該圧電素子の特定部分は検出子として機能することになる。結局、図71に示された合計16対の指状電極群は、いずれも励振素子として動作させることもできるし、検出子として動作させることもできる。ここでは、どの指状電極群の対を励振素子あるいは検出子として動作させるか、といった具体的な動作方法についての説明は省略するが、この図71に示す変形例は、これまで述べてきた圧電素子を利用した実施形態や変形例に準じた方法で動作させることが可能である。なお、伸縮方向に対して直交する方向に沿って指状電極を配置したときに、検出の感度は最も高くなるので、橋梁部920上に配置する各指状電極は、橋梁部920の長手方向に直交する方向に沿って配置するようにするのが好ましい。

【0167】

【発明の効果】以上のとおり本発明に係る検出装置によれば、加速度と角速度との双方を感度良く検出することができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本的な実施形態に係る検出装置の主要構造部の上面図である。

【図2】図1に示す主要構造部の下面図である。

【図3】図1に示す主要構造部をX軸に沿って切断した側断面図である。

【図4】図1に示す主要構造部を切断線4-4に沿って切断した側断面図である。

【図5】図1に示す主基板100の個々の構成部分を説明するための平面図である（ハッチングは、領域を示すためのものであって、断面を示すためのものではない）。

【図6】図1に示す主要構造部の中の振動子（振動部110と重錘体140）の静止状態を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図7】図1に示す主要構造部の中の振動子（振動部110と重錘体140）の振動状態の一態様を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図8】図1に示す主要構造部の中の振動子（振動部110と重錘体140）の振動状態の別な一態様を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図9】図1に示す主要構造部の中の振動子（振動部110と重錘体140）の振動時におけるノードNの位置を示す側断面図である。

【図10】図1に示す主要構造部の中の振動子（振動部110と重錘体140）に対してX軸正方向への力 F_x が作用したときの変形状態を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図11】図1に示す主要構造部の中の振動子（振動部110と重錘体140）に対してX軸負方向への力 $-F_x$ が作用したときの変形状態を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図12】図1に示す主要構造部の中の振動子（振動部110と重錘体140）に対してZ軸正方向への力 F_z が作用したときの変形状態を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図13】図1に示す主要構造部の中の振動子（振動部110と重錘体140）に対してZ軸負方向への力 $-F_z$ が作用したときの変形状態を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図14】本発明に係る検出装置の基本的な動作原理を示す図である。

【図15】本発明に係る検出装置において、振動子に与える振動、作用した角速度、発生したコリオリ力、作用した加速度、の具体的な条件を示すグラフである。

【図16】図15に示す条件において、実際に検出される合成力 F_y を示すグラフである。

【図17】図16に示す合成力 F_y のグラフについて、変極点P1～P9を求めた状態を示すグラフである。

【図18】図17において求めた変極点P1～P9に基づいて、参照線Q12～Q89を求めた状態を示すグラフである。

【図19】図18において求めた参照線Q12～Q89上に、参照点m1～m8をプロットした状態を示すグラフである。

【図20】図19において求めた参照点m1～m8を結ぶことにより、合成力 F_y のバイアス成分である力 f_{ay} を抽出した状態を示すグラフである。

【図21】コリオリ力 F_{cy} の包絡線Eとして、角速度を求める状態を示すグラフである。

【図22】圧電素子を利用した本発明の一実施形態に係る検出装置の上面図である。

【図23】図22に示す実施形態に用いられている励振素子361の構造を示す斜視図である。

【図24】図23に示す励振素子361を振動部310上に配置した状態を示す側断面図である。

【図25】図24に示す励振素子の動作を示す側断面図である。

【図26】図22に示す実施形態に用いられている十字状圧電素子370付近の側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図27】図22に示す実施形態における振動子（振動部310と重錘体340）に対してX軸正方向への力 F_x が作用したときの変形状態を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図28】図22に示す実施形態における振動子（振動部310と重錘体340）に対してX軸負方向への力 $-F_x$ が作用したときの変形状態を示す側断面図である（X軸に沿った切断面を示す）。

【図29】図22に示す実施形態における振動子（振動部310と重錘体340）に対してZ軸正方向への力 F_z が作用したときの変形状態を示す側断面図である（X

軸に沿った切断面を示す)。

【図30】図22に示す実施形態における振動子(振動部310と重錘体340)に対してZ軸負方向への力 F_z が作用したときの変形状態を示す側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。

【図31】図22に示す実施形態における振動子(振動部310と重錘体340)に対して各軸方向への力が作用したときに、共通電極E330に対する各電極の発生電圧の極性を示す表である。

【図32】図22に示す実施形態に適用可能な力検出回路の一例を示す回路図である。

【図33】容量素子を利用した本発明の一実施形態に係る検出装置の主要構造部の上面図である。

【図34】図33に示す主要構造部の下面図である

【図35】図33に示す主要構造部の上面に形成された電極パターンを示す平面図である(ハッチングは、領域を示すためのものであって、断面を示すためのものではない)。

【図36】図34に示す主要構造部の下面に形成された電極パターンを示す平面図である(ハッチングは、電極パターンの領域を示すためのものであって、断面を示すためのものではない)。

【図37】容量素子を利用した本発明の一実施形態に係る検出装置の上部補助基板の下面図である(ハッチングは、この上部補助基板の下面に形成された電極パターンの領域を示すためのものであって、断面を示すためのものではない)。

【図38】容量素子を利用した本発明の一実施形態に係る検出装置の下部補助基板の上面図である(ハッチングは、この下部補助基板の上面に形成された電極パターンの領域を示すためのものであって、断面を示すためのものではない)。

【図39】容量素子を利用した本発明の一実施形態に係る検出装置の各構成要素を分解して示した側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。

【図40】図39に示す検出装置の各構成要素を組み立てて示した側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。

【図41】図40に示す実施形態における振動子(振動部410と重錘体440)に対してX軸正方向への力 F_x が作用したときの変形状態を示す側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。

【図42】図40に示す実施形態における振動子(振動部410と重錘体440)に対してX軸負方向への力 F_x が作用したときの変形状態を示す側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。

【図43】図40に示す実施形態における振動子(振動部410と重錘体440)に対してZ軸正方向への力 F_z が作用したときの変形状態を示す側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。

【図44】図40に示す実施形態における振動子(振動部410と重錘体440)に対してZ軸負方向への力 F_z が作用したときの変形状態を示す側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。

【図45】図40に示す実施形態に適用可能な力検出回路の一例を示す回路図である。

【図46】円盤状の振動部を用いた本発明の一実施形態に係る検出装置の主要構造部の上面図である。

【図47】図46に示す主要構造部の下面図である。

【図48】図46に示す主要構造部をX軸に沿って切断した側断面図である。

【図49】図46に示す主要構造部を切断線49-49に沿って切断した側断面図である。

【図50】図46に示す主要構造部を切断線50-50に沿って切断した側断面図である。

【図51】図50の部分拡大図である。

【図52】円盤状の振動部を用いた本発明の別な実施形態に係る検出装置の主要構造部の上面図である。

【図53】図52に示す主要構造部の下面図である。

【図54】図52に示す主要構造部の中の主基板600の部分を切断線54-54に沿って切断した側断面図である。

【図55】図52に示す主要構造部に容量素子を付加した本発明の一実施形態に係る検出装置の上部補助基板の下面図である(ハッチングは、この上部補助基板の下面に形成された電極パターンの領域を示すためのものであって、断面を示すためのものではない)。

【図56】図52に示す主要構造部に容量素子を付加した本発明の一実施形態に係る検出装置の下部補助基板の上面図である(ハッチングは、この下部補助基板の上面に形成された電極パターンの領域を示すためのものであって、断面を示すためのものではない)。

【図57】図52に示す主要構造部に容量素子を付加した本発明の一実施形態に係る検出装置の各構成要素を分解して示した側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。

【図58】図57に示す検出装置の各構成要素を組み立てて示した側断面図である(X軸に沿った切断面を示す)。

【図59】図58に示す実施形態に適用可能な力検出回路の一例を示す回路図である。

【図60】図52に示す主要構造部に容量素子を付加した本発明の別な実施形態に係る検出装置の上部補助基板の下面図である(ハッチングは、この上部補助基板の下面に形成された電極パターンの領域を示すためのものであって、断面を示すためのものではない)。

【図61】図52に示す主要構造部に容量素子を付加した本発明の別な実施形態に係る検出装置の下部補助基板の上面図である(ハッチングは、この下部補助基板の上面に形成された電極パターンの領域を示すためのもので

あって、断面を示すためのものではない)。

【図62】図60および図61に示す補助基板を利用した実施形態に適用可能な力検出回路の一例を示す回路図である。

【図63】主基板上の全面に板状圧電素子を形成してなる本発明の一実施形態に係る検出装置の上面図である。

【図64】図63に示す検出装置をX軸に沿って切断した側断面図である。

【図65】図63に示す検出装置を切断線65-65に沿って切断した側断面図である。

【図66】主基板上の全面に板状圧電素子を形成してなる本発明の別な実施形態に係る検出装置の上面図である。

【図67】図66に示す検出装置の検出原理を示す側面図である。

【図68】図67に示す実施形態に適用可能な力検出回路の一例を示す回路図である。

【図69】図66に示す実施形態の変形例に係る検出装置の上面図である。

【図70】図69に示す変形例に適用可能な力検出回路の一例を示す回路図である。

【図71】指状電極群を利用した本発明の一実施形態に係る検出装置の上面図である。

【図72】図71に示す検出装置をX軸に沿って切断した側断面図である。

【図73】図71に示す検出装置の動作原理を示すための圧電素子の側断面図である。

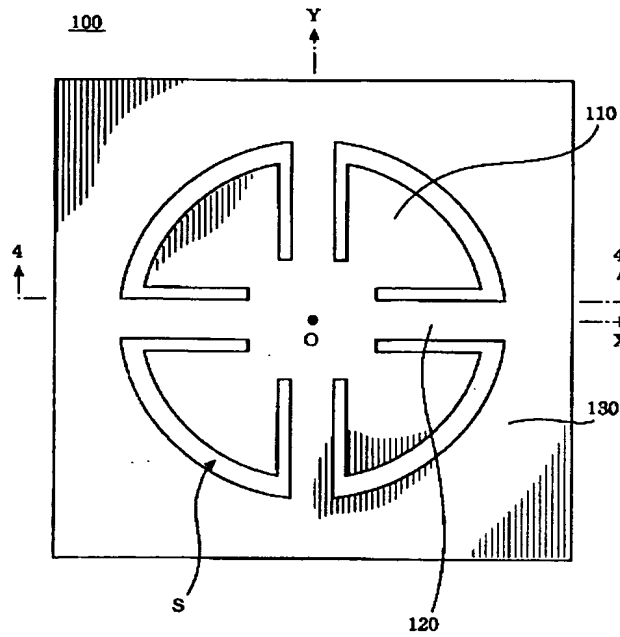
【符号の説明】

100…主基板
110…振動部
110A…振動部(上に凸状態)
110B…振動部(下に凸状態)
120…橋梁部
130…固定部
140…重錘体
150…台座
200…筒状体
210…質点
220…橋梁部
230…固定部
260…Z軸方向励振部
271…X軸方向力検出部
272…Y軸方向力検出部
273…Z軸方向力検出部
281…X軸方向信号分離部
282…Y軸方向信号分離部
300…主基板
310…振動部
320…橋梁部
330…固定部

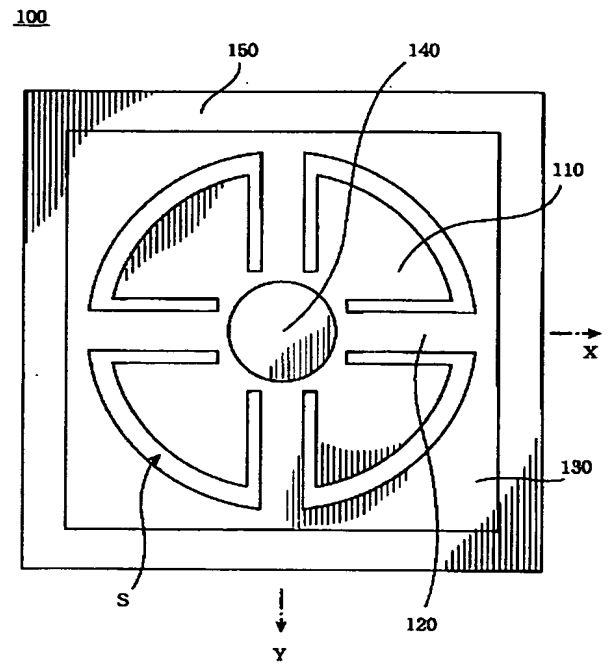
340…重錘体
350…台座
360…圧電素子
361～364…励振素子
370…十文字状圧電素子
381～389…演算器
400…主基板
410…振動部
420…橋梁部
430…固定部
440…重錘体
450…台座
460…上部補助基板
465…台座
470…下部補助基板
481～484…C/V変換回路
491～493…演算器
500…主基板
510…振動部
511…翼状部
512…中心部
513…円盤部
520…橋梁部
530…固定部
540…重錘体
550…台座
600…主基板
610…振動部(共通電極として機能する)
611…翼状部
612…中心部
613…円盤部
620…橋梁部
630…固定部
650…台座
660, 660A…上部補助基板
665, 665A…台座
670, 670A…下部補助基板
681～686…C/V変換回路
685a～685j…C/V変換回路
691～693…演算器
695a～695d…演算器
696a～696c…演算器
700…主基板
710…振動部
711…翼状部
712…中心部
713…円盤部
720…橋梁部
730…固定部
740…重錘体

750…台座	E860…共通電極
760…板状圧電素子	E861～E864…励振用電極
800, 800A…主基板	E865～E868…検出用電極
810…振動部	E861A～E868A…電極
820…橋梁部	E861B～E868B…電極
830…固定部	E931A～E934A…指状電極群
840…重錘体	E931B～E934B…指状電極群
860…板状圧電素子	E961A～E968A…指状電極群
881～889…演算器	E961B～E968B…指状電極群
900…主基板	$F_x, -F_x$ …X軸正または負方向へ加わる力
910…振動部	$F_y, -F_y$ …Y軸正または負方向へ加わる力
920…橋梁部	$F_z, -F_z$ …Z軸正または負方向へ加わる力
930…固定部	$F_{x'}, -F_{x'}$ …X'軸正または負方向へ加わる力
940…重錘体	f_{ay} …Y軸方向への加速度に基づく力
950…台座	f_{cy} …Y軸方向へのコリオリ力
960…板状圧電素子	G…重心
$C(+x), C(-x), C(+y), C(-y), C(z)$ …容量素子	L1…第1層(シリコン層)
$CC(+x), CC(-x), CC(+y), CC(-y), CC(z)$ …容量素子	L2…第2層(酸化シリコン層)
E…包絡線	L3…第3層(シリコン層)
EE…指状電極	m1～m9…参照点
E310…下部電極	N…ノード
E320…上部電極	O…原点
E330…共通電極	P…境界点
E331～E338…検出用電極	P1～P9…変極点
E401～E405…励振用電極	Q1～Q9…区画線
E406～E409…検出用電極	Q12～Q89…参照線
E415…励振用電極	S…貫通スリット(Cの字状)
E461～E465…励振用電極	S1…貫通スリット(円弧状)
E466～E469…検出用電極	S2…溝状スリット
E475…励振用電極	S3…空隙部
E661～E665…励振用電極	t…時間
E666～E669…検出用電極	$T_x, T_y, T_z, T_{x'}, T_{y'}$ …出力端子
E671～E675…励振用電極	U_z …Z軸方向の振動
E676～E679…検出用電極	V1～V4…電圧
EE661～EE665…兼用電極	X, Y, Z…三次元座標系の各座標軸
EE671～EE675…兼用電極	X', Y' …X軸およびY軸から45°ずれた軸
E731～E738…検出用電極	α_x …X軸方向への加速度
E760…共通電極	α_y …Y軸方向への加速度
E761～E764…励振用電極	α_z …Z軸方向への加速度
E831～E838…検出用電極	ω_x …X軸回りの角速度
	ω_y …Y軸回りの角速度
	ω_z …Z軸回りの角速度

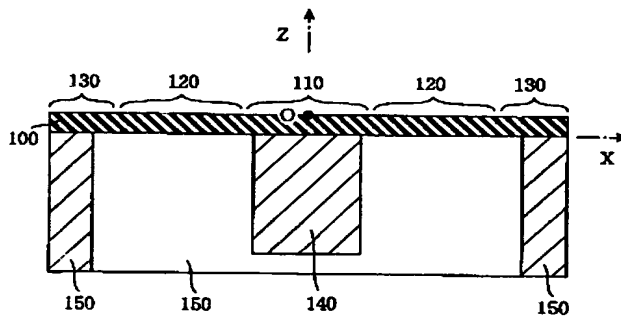
【図1】



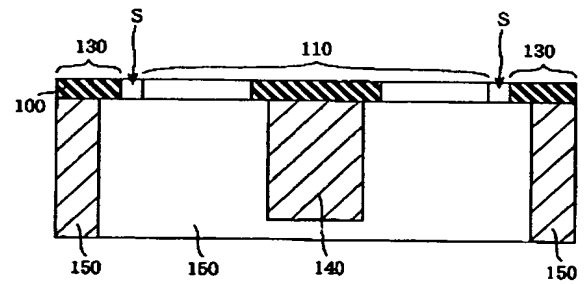
【図2】



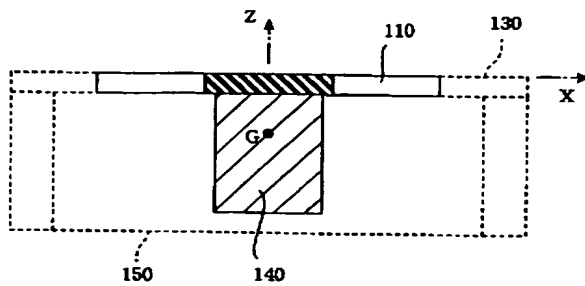
【図3】



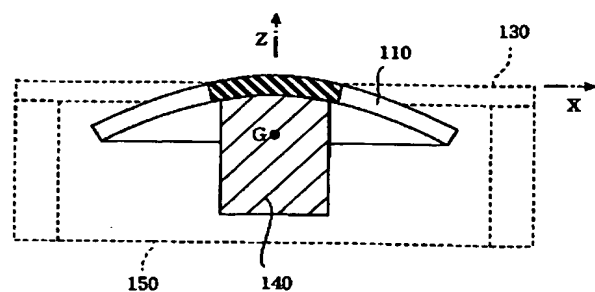
【図4】



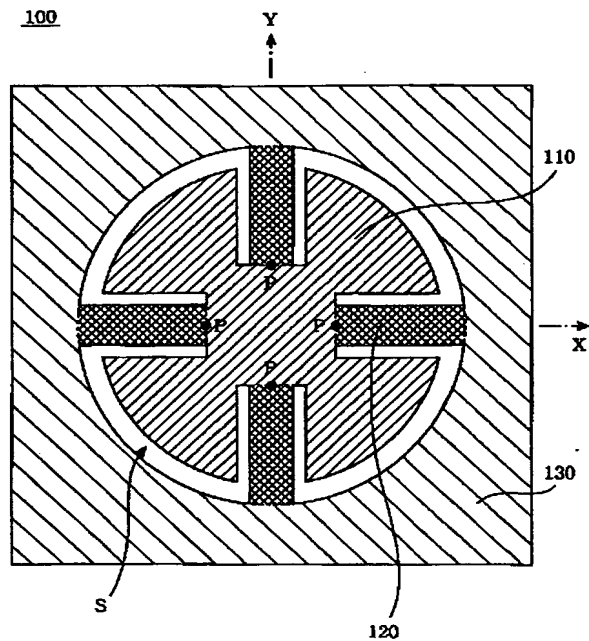
【図6】



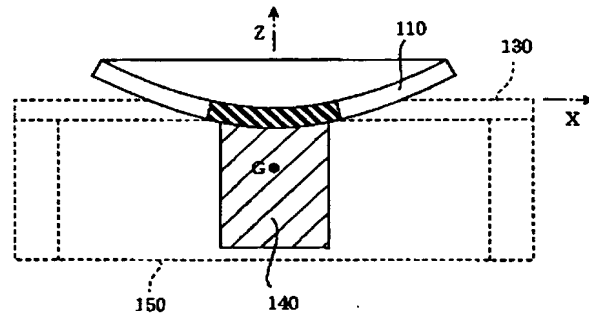
【図7】



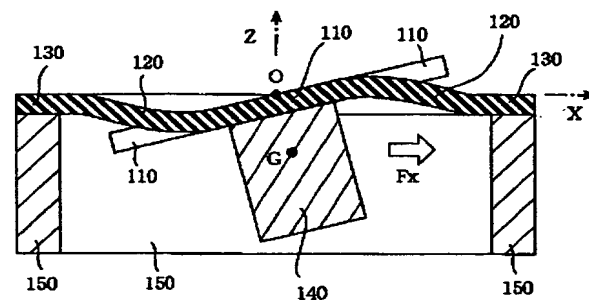
【図5】



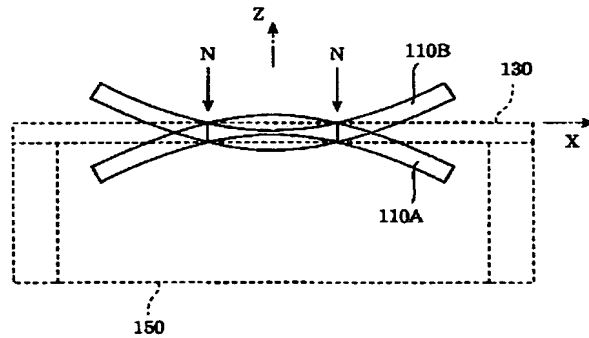
【図8】



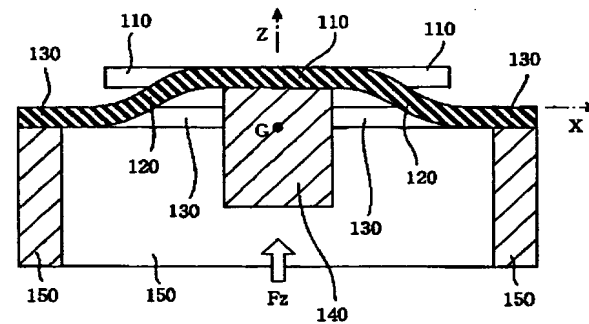
【図10】



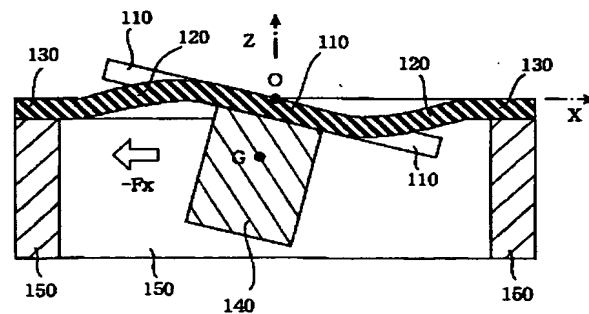
【図9】



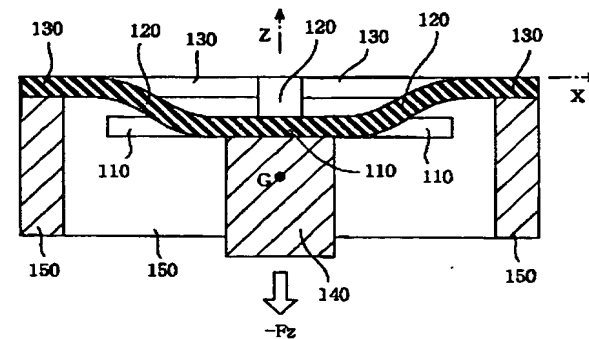
【図12】



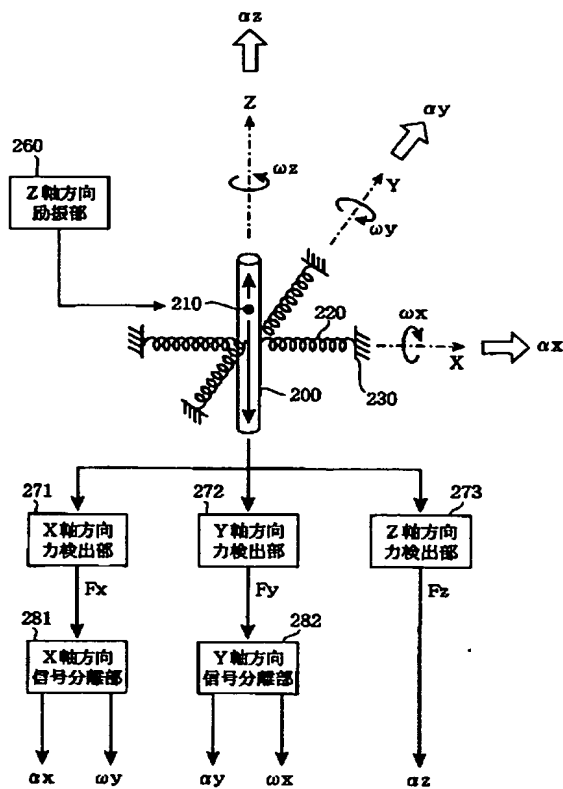
【図11】



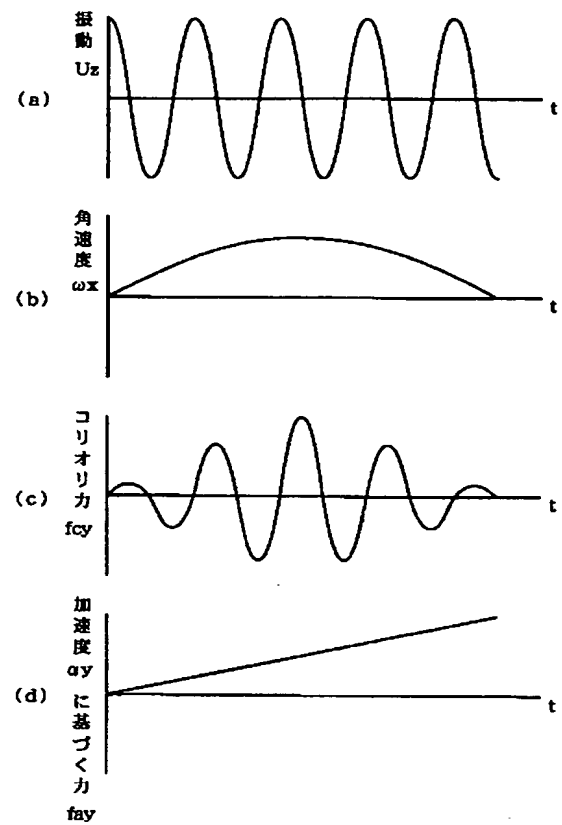
【図13】



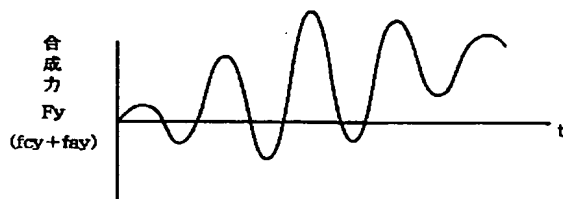
【図14】



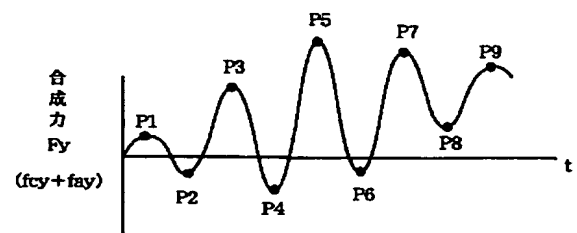
【図15】



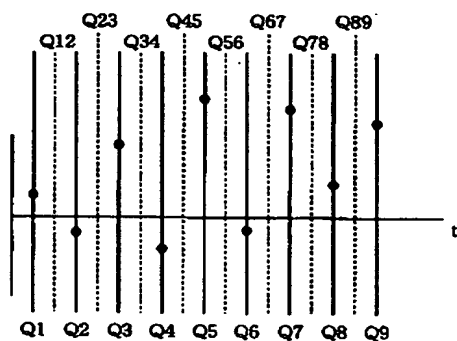
【図16】



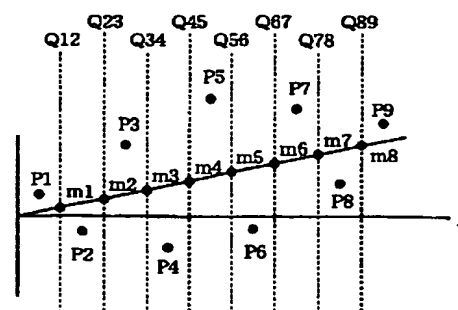
【図17】



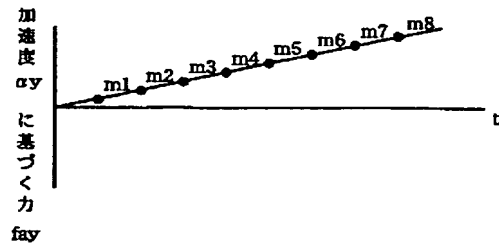
【図18】



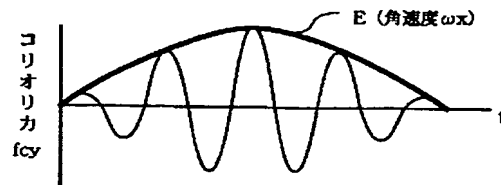
【図19】



【図20】

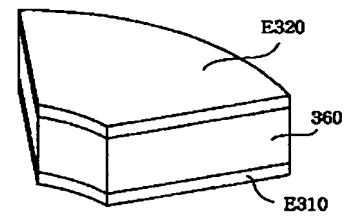


【図21】

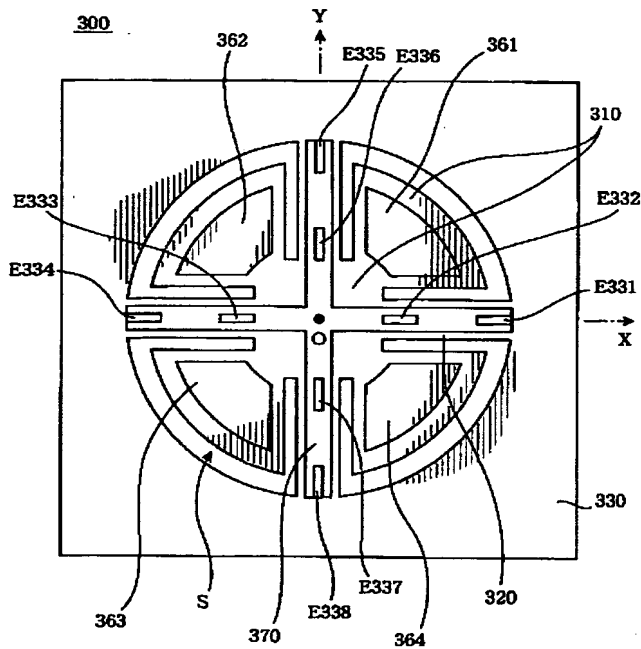


【図23】

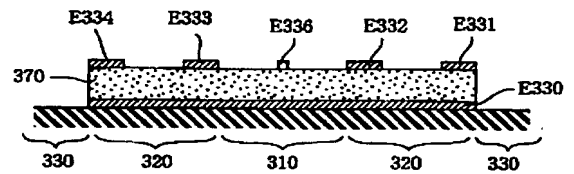
361



【図22】



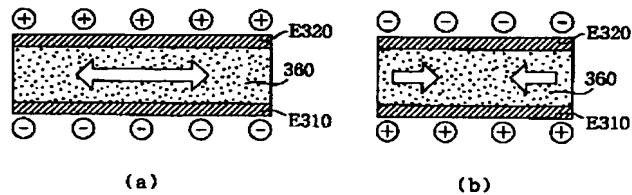
【図26】



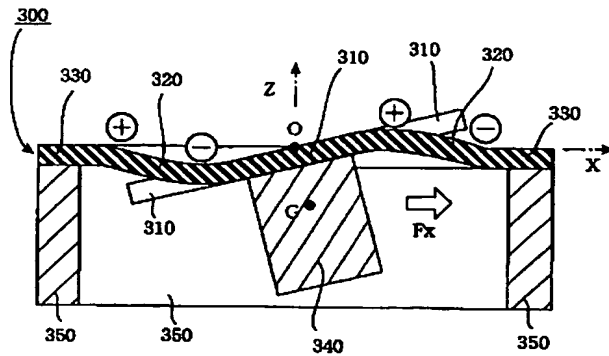
【図24】



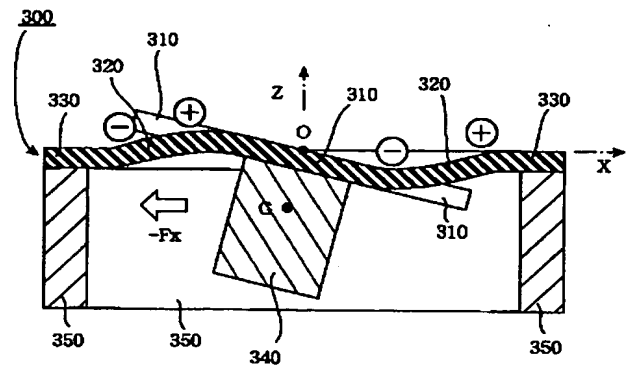
【図25】



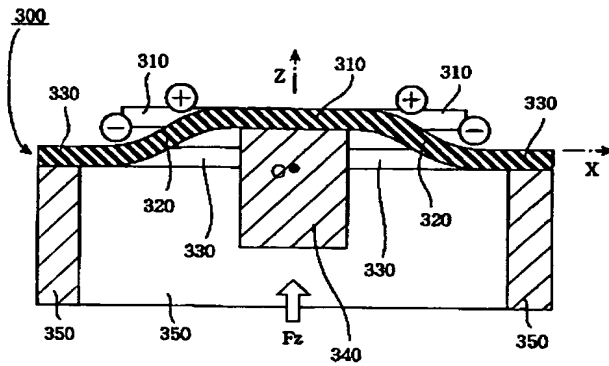
【図27】



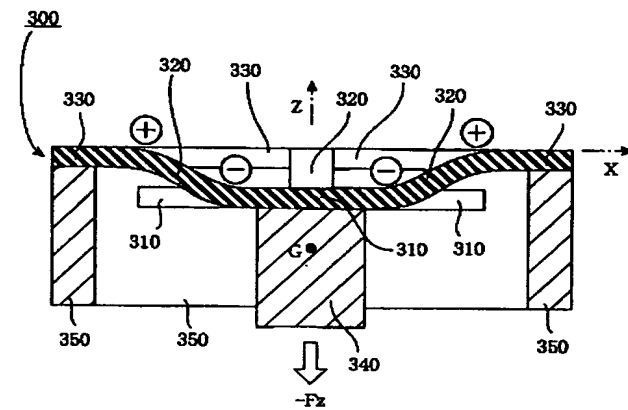
【図28】



【図29】



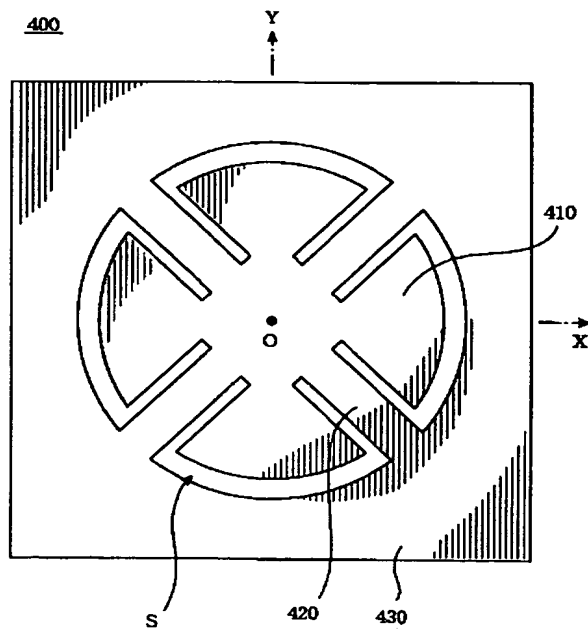
【図30】



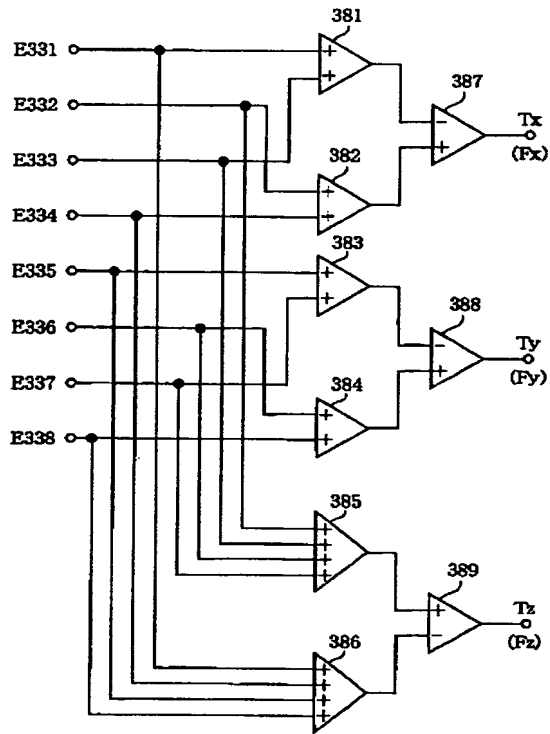
【図31】

	E331	E332	E333	E334	E335	E336	E337	E338
+Fx	-	+	-	+	0	0	0	0
-Fx	+	-	+	-	0	0	0	0
+Fy	0	0	0	0	-	+	-	+
-Fy	0	0	0	0	+	-	+	-
+Fz	-	+	+	-	-	+	+	-
-Fz	+	-	-	+	+	-	-	+

【図33】

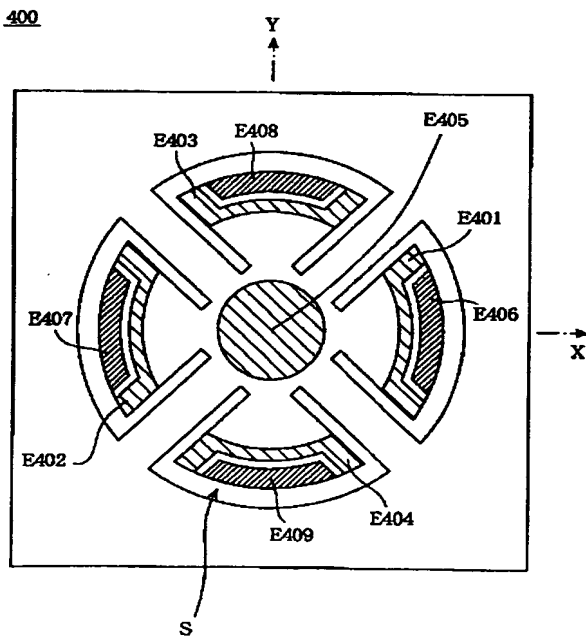


【図32】

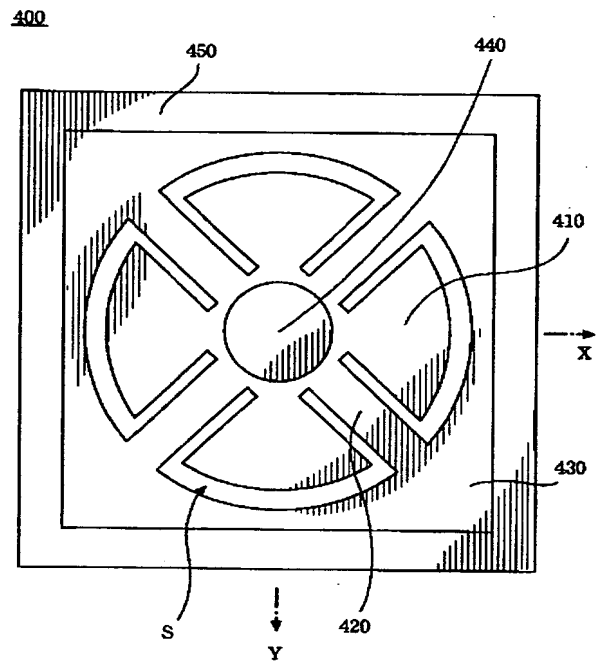


E330
GND

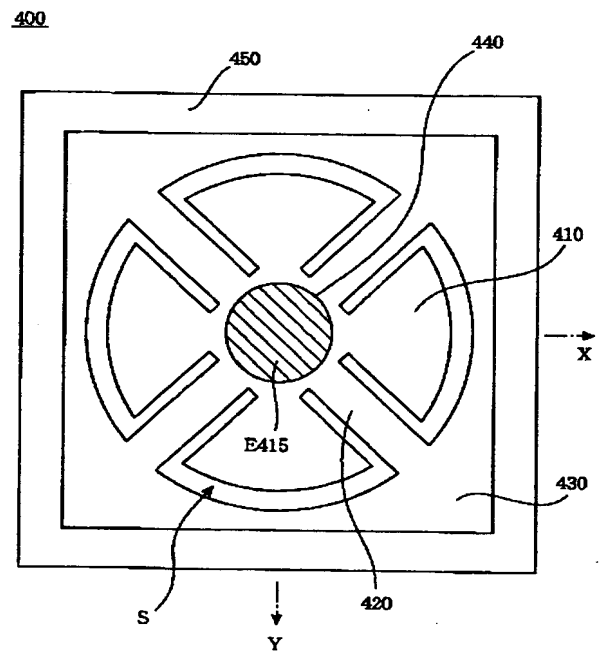
【図35】



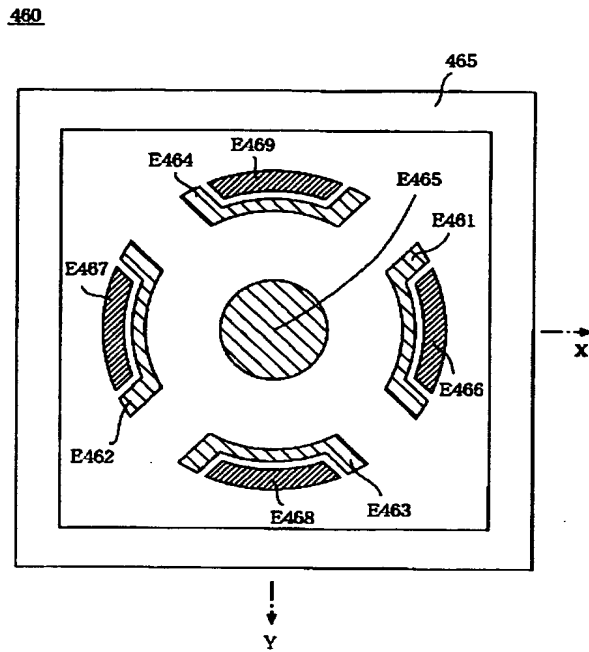
【図34】



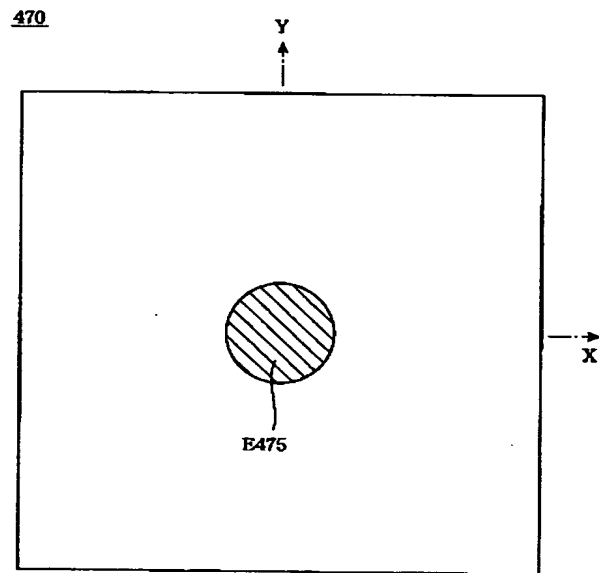
【図36】



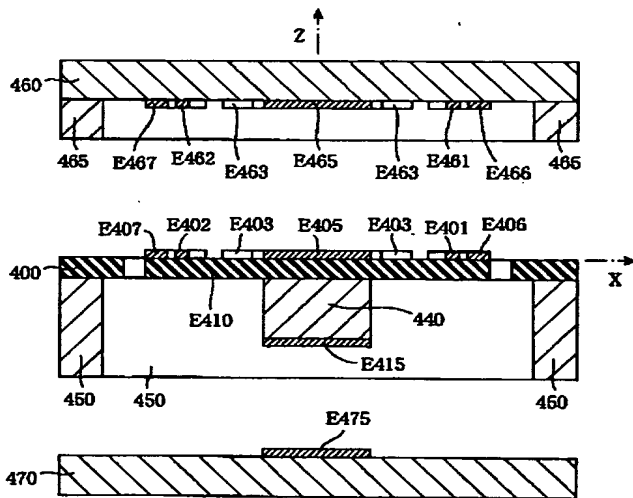
【図37】



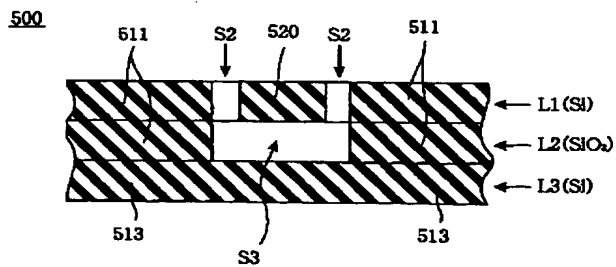
【図38】



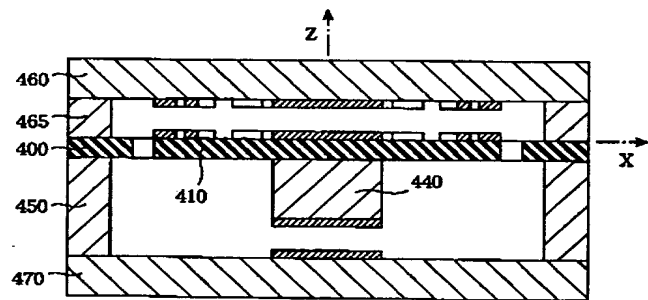
【図39】



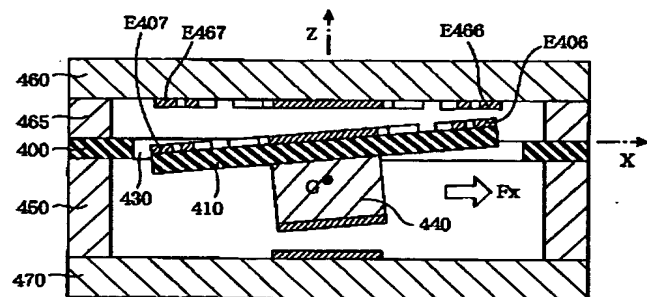
【図51】



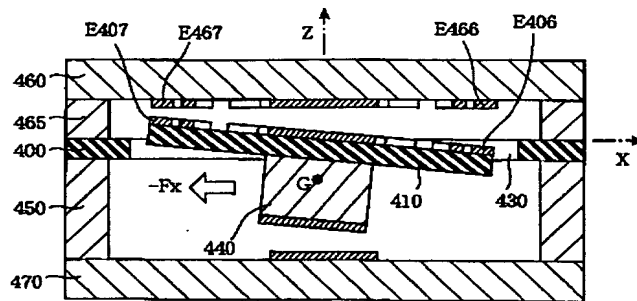
【図40】



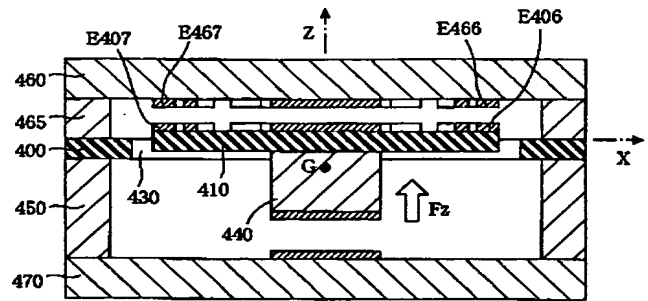
【図41】



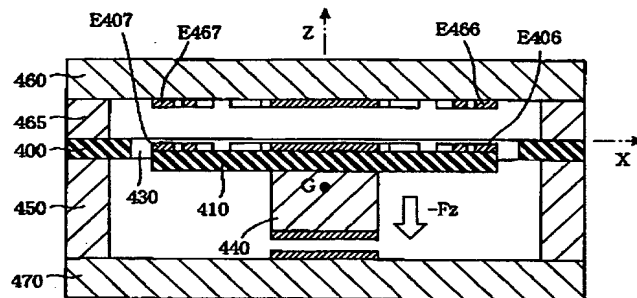
【図42】



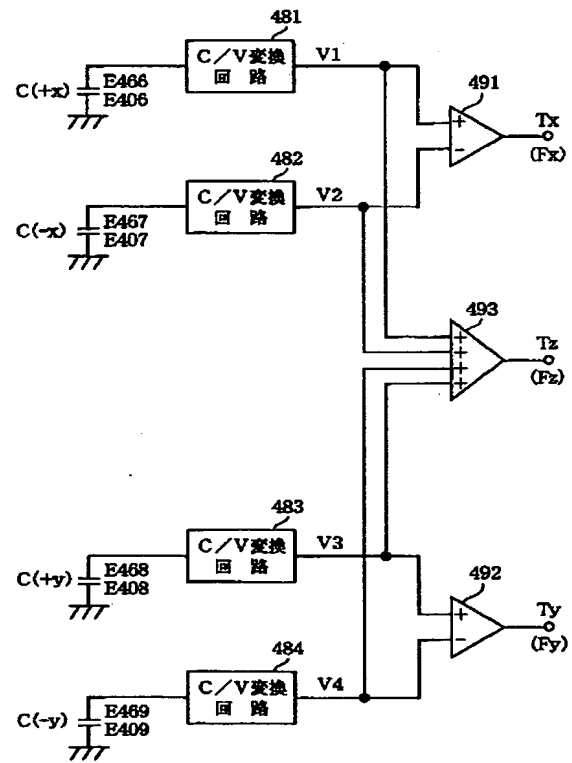
【図43】



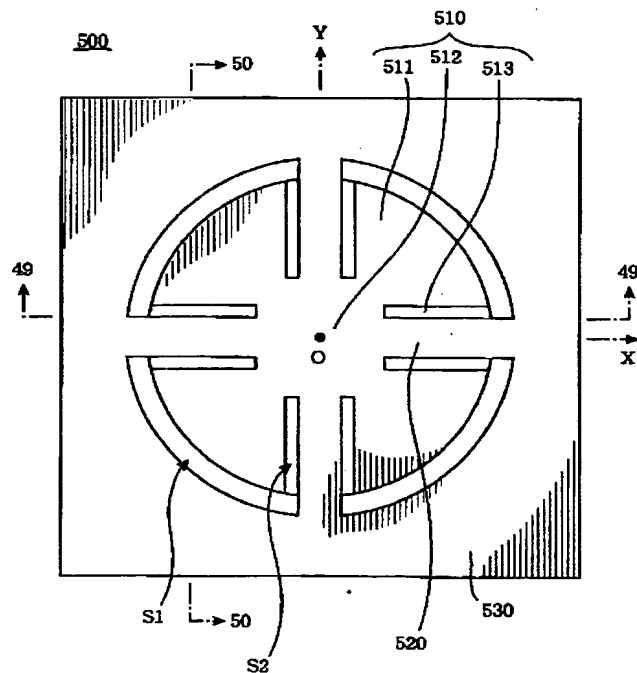
【図44】



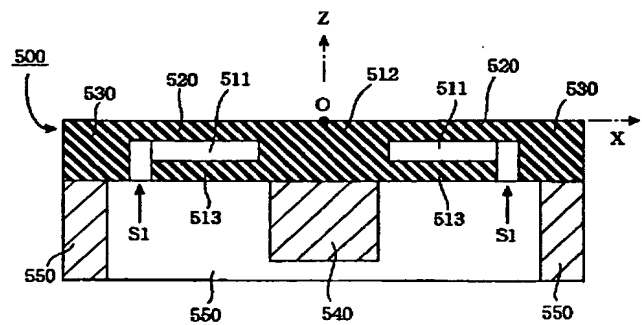
【図45】



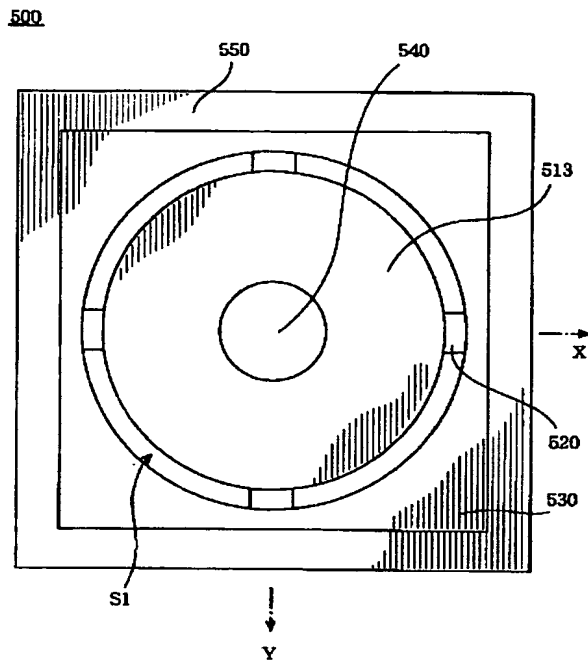
【図46】



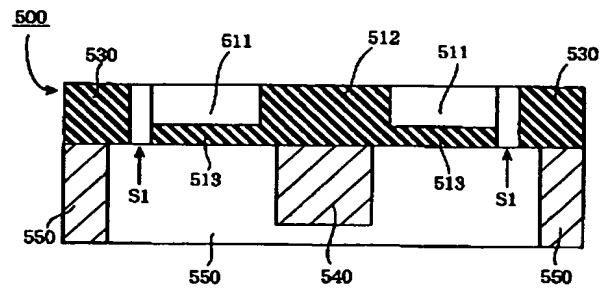
【図48】



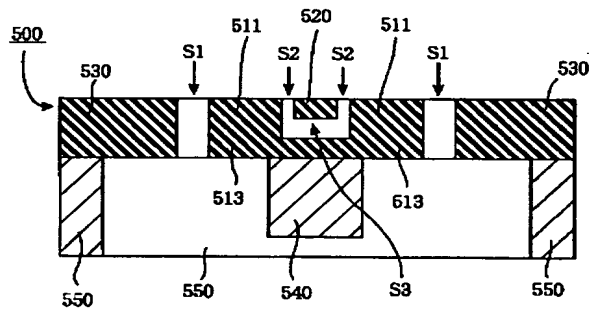
【図47】



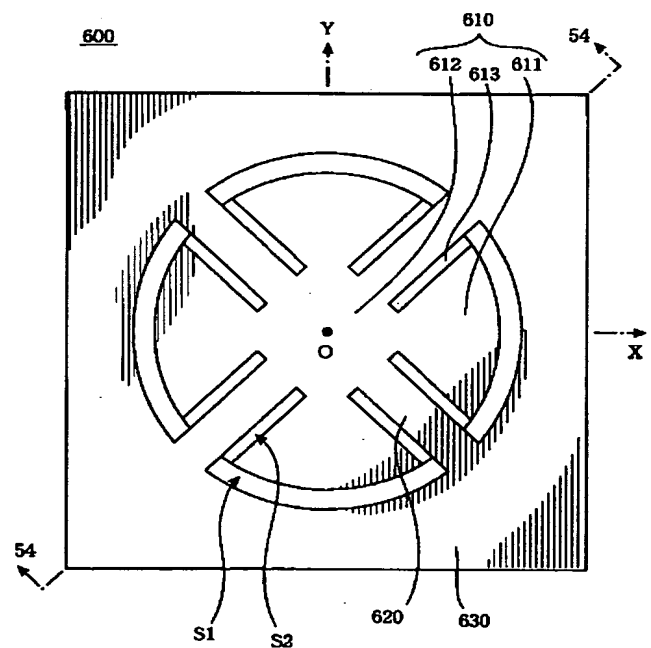
【図49】



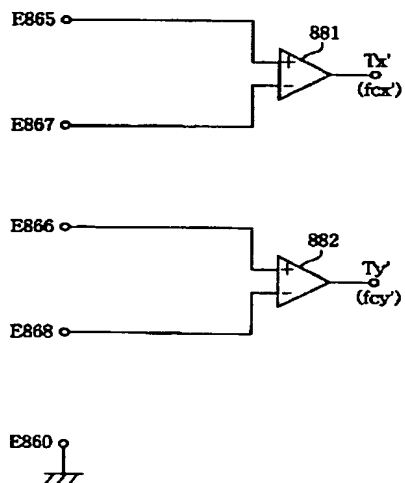
【図50】



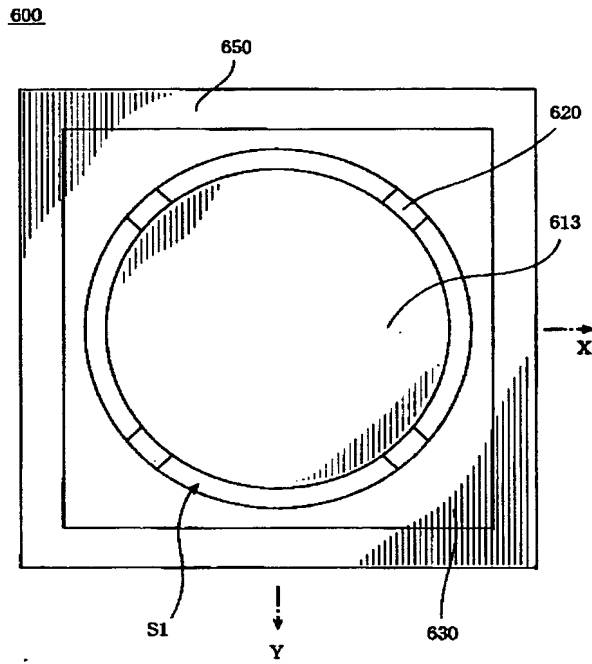
【図52】



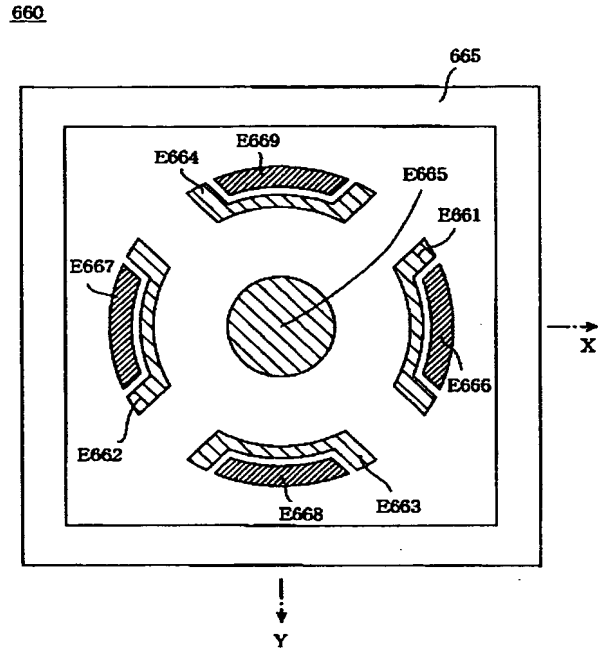
【図68】



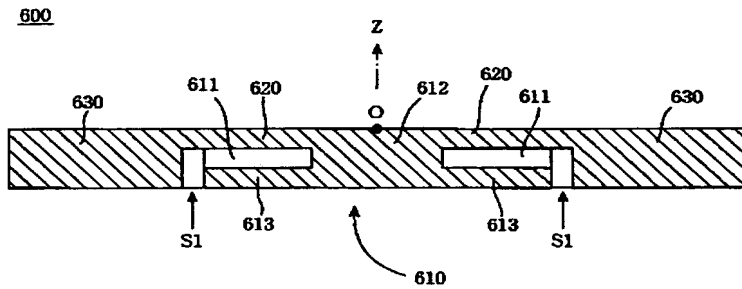
【図53】



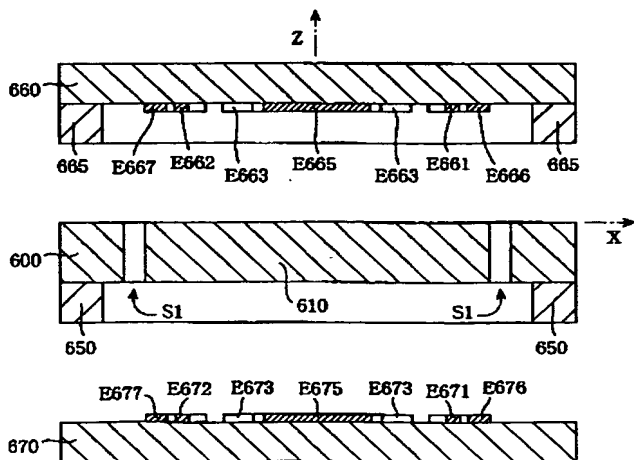
【図55】



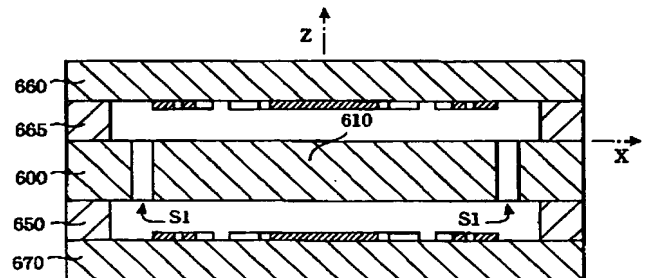
【図54】



【図57】

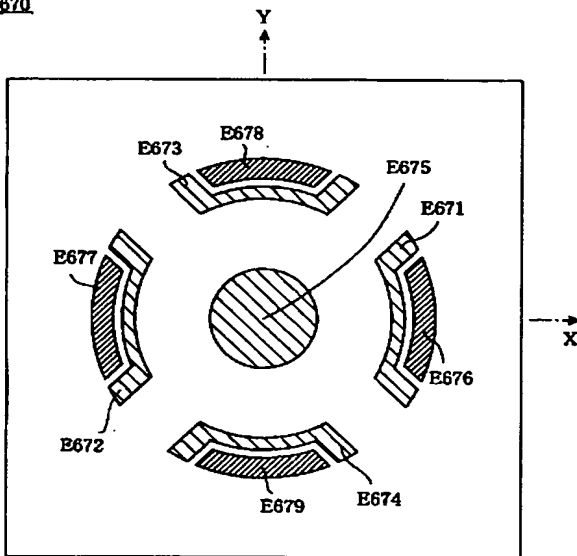


【図58】



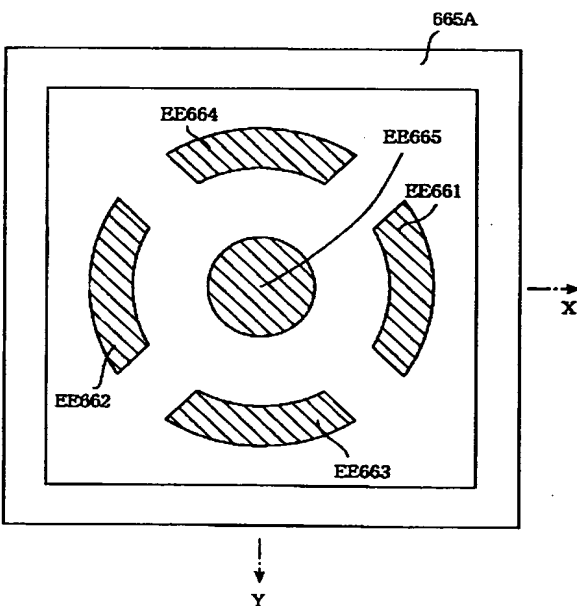
【図56】

670

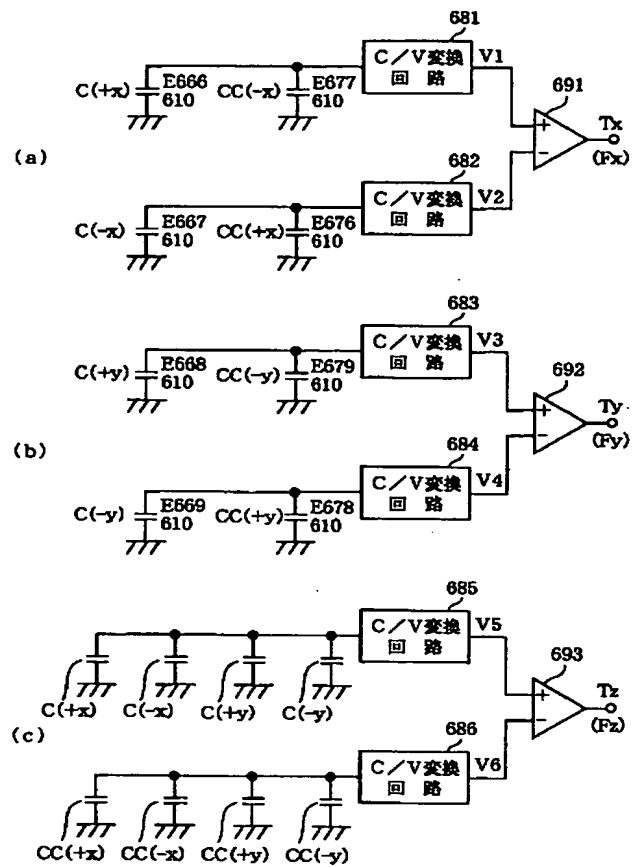


【図60】

660A

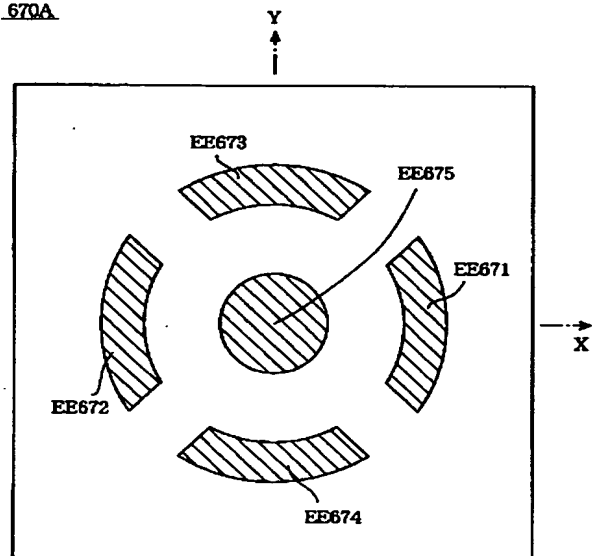


【図59】

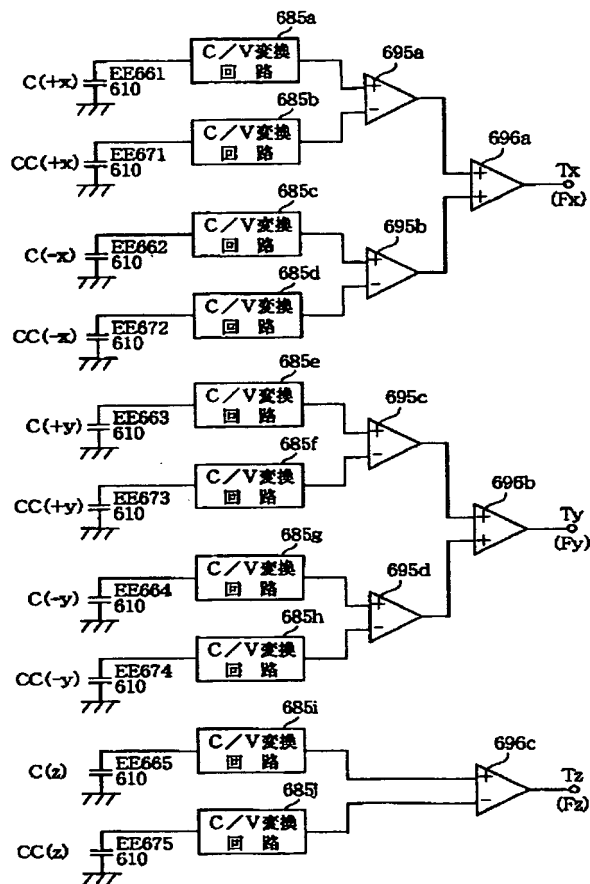


【図61】

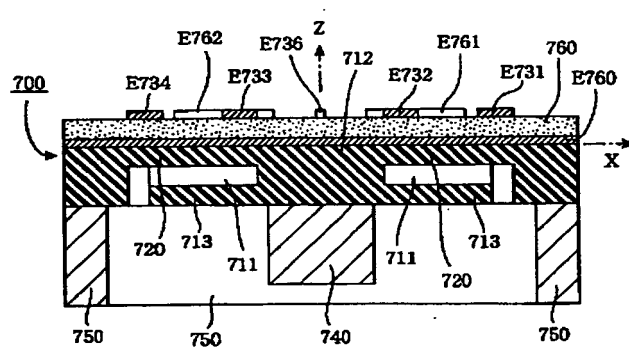
670A



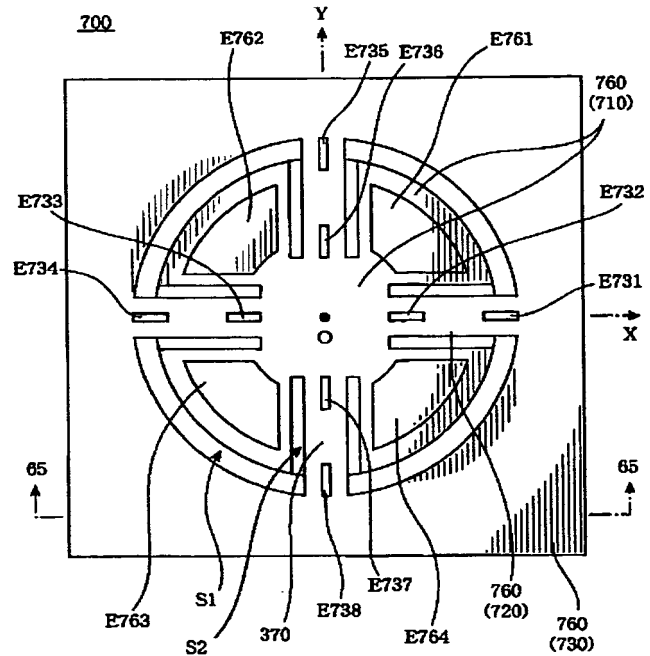
【図62】



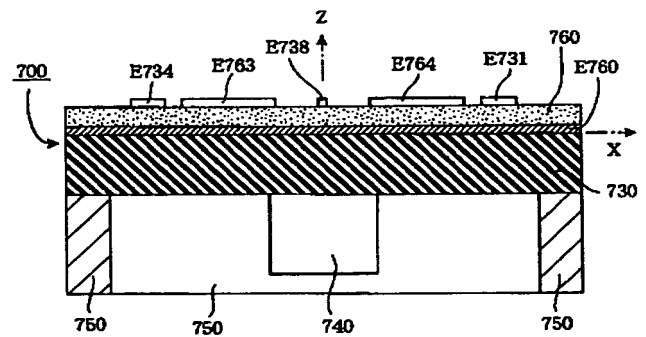
【図64】



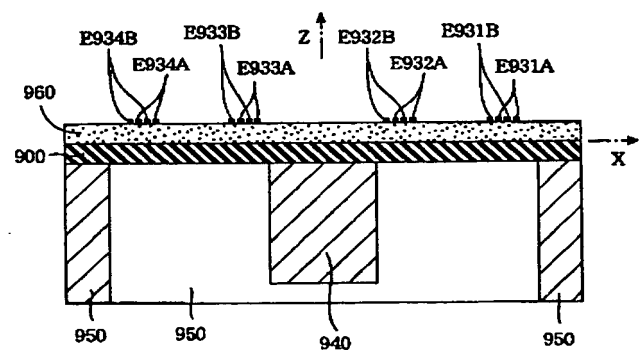
【図63】



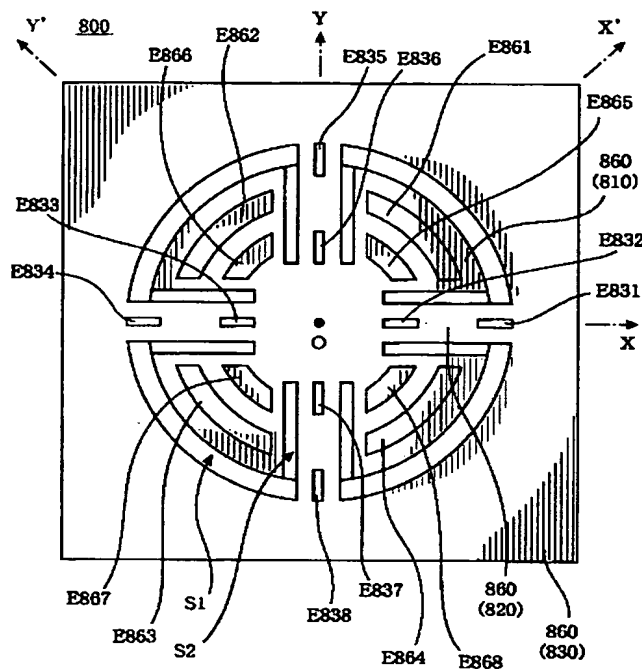
【図65】



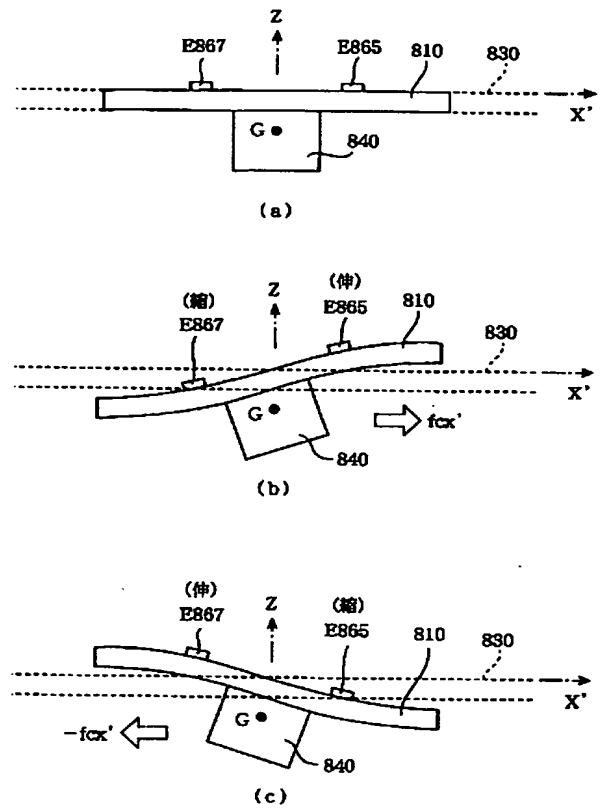
【図72】



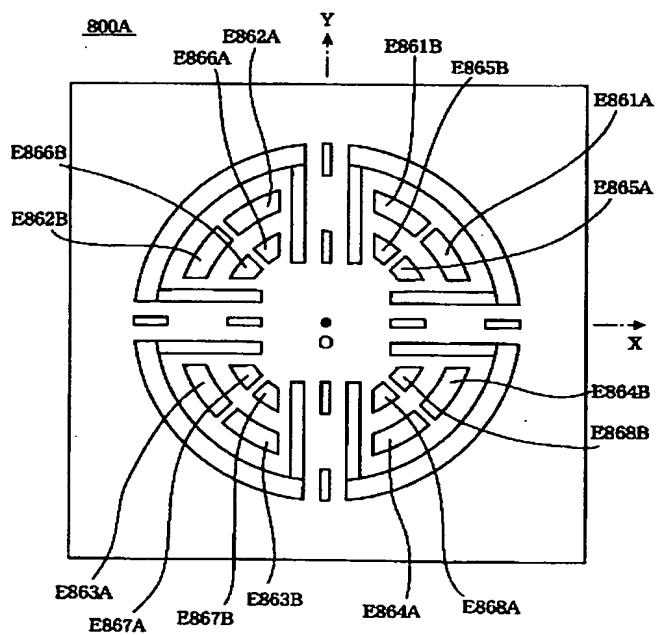
【図66】



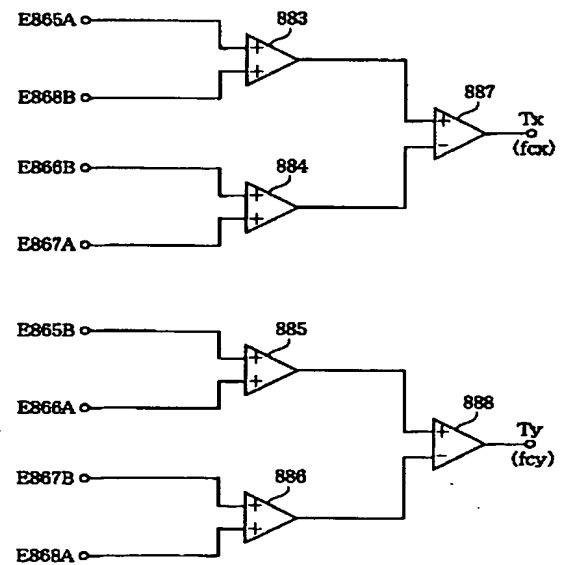
【図67】



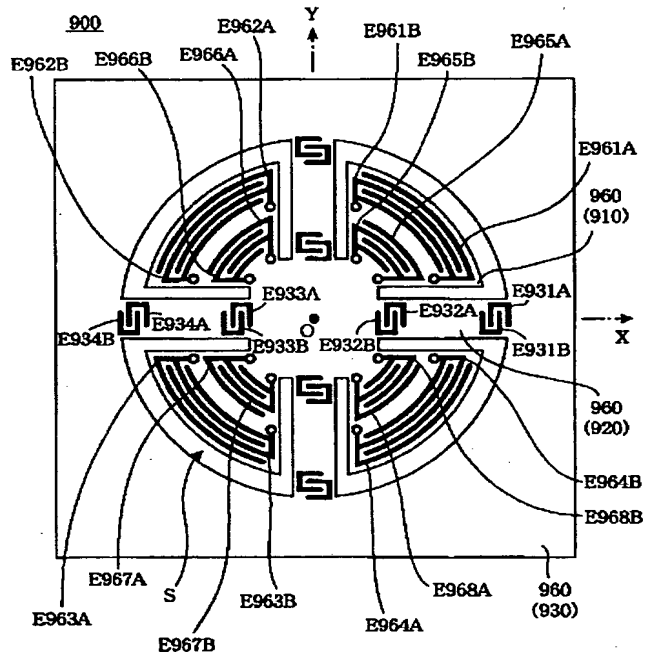
【図69】



【図70】



【図71】



【図73】

